

539,254

10/539254

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年7月1日 (01.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/056159 A1(51) 国際特許分類:
H01L 21/3065, 21/205, C23C 14/54

H05H 1/46,

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉
県 川口市 本町四丁目 1 番 8 号 Saitama (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016007

(22) 国際出願日: 2003年12月12日 (12.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2002-363988

2002年12月16日 (16.12.2002) JP

特願 2002-363989

2002年12月16日 (16.12.2002) JP

特願 2003-14718 2003年1月23日 (23.01.2003) JP

(71) 出願人 および

(72) 発明者: 三宅 正司 (MIYAKE, Shoji) [JP/JP]; 〒565-0802
大阪府 吹田市 青葉丘南 8 番 P-5 0 5 Osaka (JP). 江
部 明憲 (EBE, Akinori) [JP/JP]; 〒615-0052 京都府 京
都市 右京区 西院清水町 1 2-1 プリオーレ京都西院
4 0 2 Kyoto (JP).

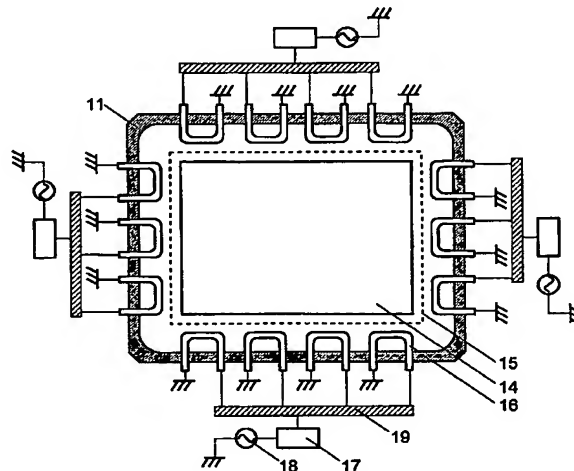
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 庄司 多津男
(SHOJI, Tatsuo) [JP/JP]; 〒467-0004 愛知県 名古屋市
瑞穂区 松月町 2-4 5 メゾン松月 2 0 2 Aichi (JP).

[続葉有]

(54) Title: PLASMA GENERATION DEVICE, PLASMA CONTROL METHOD, AND SUBSTRATE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ生成装置、プラズマ制御方法及び基板製造方法



(57) Abstract: There is provided a plasma generation device capable of generating spatially uniform and high-density plasma. This is achieved as follows. A plurality of antennas (16) are provided on the side wall of a vacuum vessel (11) and one high-frequency power source is connected for three to four antennas (16) in parallel via a plate-shaped conductor (19). The conductor of each antenna (16) has a length smaller than 1/4 of the wavelength of the induction electromagnetic wave generated in the vacuum vessel. By defining the length of the antenna conductor in this way, it is possible to prevent generation of a standing wave and prevent deterioration of uniformity of plasma in the vacuum vessel. Moreover, by using the plate-shaped conductor (19), it is possible to effectively release heat, thereby suppressing increase of the impedance.

(57) 要約: 本発明は空間的に均一で高密度のプラズマを生成することができるプラズマ生成装置を提供することを目的として成されたものである。このような目的は、次のように構成することにより達成される。真空容器 11 の側壁に複数のアンテナ 16 が設けられ、3~4 個のアンテナ 16 に対して 1 個の高周波

[続葉有]

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/056159 A1



節原 裕一 (SETSUHARA, Yuichi) [JP/JP]; 〒562-0031
大阪府 箕面市 小野原東 3-1 1-1 5-2 4 5 Osaka
(JP).

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(74) 代理人: 小林 良平 (KOBAYASHI, Ryohel); 〒600-8091
京都府 京都市下京区 東洞院通四條下ル元恵王子
町 3 7 豊元四條烏丸ビル 7 階 小林特許商標事務所
Kyoto (JP).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

電源が、板状導体 19 を介して並列に接続される。各アンテナ 16 の導体の長さは、真空容器内に生成される誘導電磁波の波長の 1/4 よりも短い。アンテナ導体の長さをこのようにすることにより、定在波が生じることを防ぎ、それにより真空容器のプラズマの均一性が損なわれることを防ぐことができる。また、板状導体 19 を用いることにより効率よく放熱することができるためインピーダンスの上昇を抑えることができる。

明細書

プラズマ生成装置、プラズマ制御方法及び基板製造方法

技術分野

本発明は、プラズマを用いて被処理基板の表面に堆積処理又はエッチング処理を行い半導体などの基板を製造するためのプラズマ生成装置に関する。特に、大面積に亘って均一にプラズマを発生させることにより、大面積の基板を製造する技術に関する。

背景技術

近年、アモルファスシリコン膜を用いたTFT(薄膜トランジスタ)-LCDよりも高輝度の画像を表示することができるポリシリコンTFT-LCDが注目されている。ポリシリコンTFT-LCDでは、まず、ガラス基板上にポリシリコン薄膜を形成したポリシリコン基板を製造する。このポリシリコン基板上を多数の2次元配列された画素領域に区分し、各画素領域に薄膜トランジスタ(TFT)を形成してLCD用基板とする。大画面のポリシリコンTFT-LCDを製造するためには、高い品質、特に高い平坦性を有するポリシリコン基板が必要となる。

ポリシリコン基板は高効率の太陽電池用基板としても注目されており、需要及び応用の拡大に伴ってその大面積化が求められている。また、一般の半導体デバイス用基板についても、単結晶サイズを超える大面積のものについては、堆積による基板を使用せざるを得ない。

これらの分野で用いられる基板を製造するために、プラズマを用いた処理が行われる。プラズマを用いた処理には、土台となる被処理基板の表面に基板の原料を堆積させる処理、及び、被処理基板表面をエッチングする処理等が含まれる。基板の大型化に伴い、プラズマ処理を行う装置も大型化する必要があるが、その際の最も大きな問題は、プラズマ処理の不均一性である。これを解消するためには、基板全面に亘ってプラズマ密度をできるだけ均一にする必要がある。一方、生産性の観点からは、プラズマ密度を高め、それにより堆積速度やエッチングレ

ートを高めることが求められる。

プラズマを生成する方法には、ECR(電子サイクロトン共鳴)プラズマ方式、マイクロ波プラズマ方式、誘導結合型プラズマ方式、容量結合型プラズマ方式等がある。このうち誘導結合型プラズマ方式は、アンテナとなる誘導コイルに高周波電圧を印加し、プラズマ生成装置の内部に誘導電磁界を生成して、それによりプラズマを生成するものである。この構成によれば、前記のプラズマ装置に求められる要件の1つである高密度のプラズマを生成することができる。一方、プラズマ密度はアンテナからの距離に依存するため、前記のもう1つの要件であるプラズマ密度の均一性についてはアンテナの形状や位置等の構成を工夫することにより向上することが図られている。例えば、特開2000-58297号公報（以下、「特許文献1」とする）には、プラズマ生成室の天井の外側に設けた平板状のコイルから高周波を導入し、プラズマ密度の均一性を向上させることが記載されている。

このような構成において基板の面積化を図ろうとすると、プラズマ生成室天井の機械的強度を確保するために天井の壁を十分に厚くしなければならない。しかし、特許文献1の装置ではプラズマ生成室の外側にアンテナが配置されているため、アンテナから放射される誘導電磁界が壁において減衰し、プラズマ生成室内の誘導電磁界の強度を十分に得ることが困難である。即ち、特許文献1に記載の方法では、プラズマ密度の均一性については一定の向上が見られるものの、プラズマ密度を十分に高くすることは困難である。

それに対して本願発明者らは特開2001-35697号公報（「特許文献2」）において、高周波アンテナをプラズマ生成室内部に設けること、複数のアンテナを設けること、及び周回しない形状のアンテナを用いることを提案している。

この構成によれば、プラズマ生成室の壁が障害とならないため、誘導電磁界が減衰することなくプラズマ生成室内に放射され、プラズマ密度を十分に高くすることができる。また、均等に配置された複数のアンテナから誘導電磁界が放射されるため、その均一性が向上し、それによりプラズマ密度の均一性を向上させることができる。更に、内部アンテナは大きな電圧が印加されると異常放電を生じやすいが、複数のアンテナを設けることにより個々のアンテナのインダクタンスが小さくなり、異常放電が生じることがない。周回しない形状のアンテナを用い

ることも、アンテナのインダクタンスを小さくして異常放電を抑えることに寄与する。これらの効果により、大面積の被処理基板に対する堆積処理やエッチング処理が可能になる。以下、特許文献2に記載の複数のアンテナを設ける構成を「マルチアンテナ方式」と呼ぶ。

今後更に大面積の基板を処理するためには、プラズマ密度の強度を十分に確保しつつ、より均一性の高いプラズマ状態を生成することが求められる。そのためには、前記マルチアンテナ方式においても、各アンテナの形状・位置等やアンテナ間の関係等、現在考慮されていないパラメータを検討することが必要である。また、アンテナから放射される誘導電磁界の定在波が形成されると、それによりプラズマの均一性が損なわれる。更に、誘導電磁界の強度は高周波アンテナからの距離に依存するため、マルチアンテナ方式を用いてもなお、基板中央付近のプラズマ密度は基板外縁部付近のそれよりも低くなる。基板面積が小さい場合には基板中央付近と基板外縁部付近とのプラズマ密度の差は許容範囲に収まるが、基板面積が大きくなるとその差は無視できなくなる。また、エッチングや堆積の速度等は、イオン種やラジカル種によっても異なるため、生成されるイオン種やラジカル種の種類も考慮する必要がある。

本発明はこのような課題を解決するために成されたものであり、その目的とするところは、空間的に均一で高密度のプラズマを生成することができ、生成されるイオン種やラジカル種の種類を制御することができるプラズマ生成装置を提供することにある。

発明の開示

上記課題を解決するために成された本発明に係るプラズマ生成装置は、

- a) 真空容器と、
 - b) 前記真空容器内に設けられた、被処理基板を載置する基板台と、
 - c) 前記真空容器内に、前記基板台に略平行に配列された複数個の高周波アンテナと、
- を備えることを特徴とする。

また、本発明に係るプラズマ生成装置には、上記構成に加えて、更に以下(1)～(5)のうちのいずれか1つ又は複数の構成を兼ね備えることが望ましい。

(1) 前記アンテナが前記高周波の1/4波長の長さよりも短い導体からなる。

(2) 前記複数のアンテナに並列に接続される板状導体を有する。更に、アンテナに電力を供給する電源と板状導体との接続点と、各々のアンテナと板状導体との接続点との距離が高周波の1/4波長の長さよりも短い。

(3) 前記基板台の目的領域に対応する位置のアンテナのアスペクト比が該目的領域における目的プラズマ密度又はプラズマ電子エネルギーに応じた値に設定されている。ここで「アスペクト比」とは、アンテナの、内壁に垂直な方向の長さを内壁に平行な方向の長さで除した値をいう。

(4) アンテナの電極が前記基板台に略平行に並ぶように配列され、1組又は複数組の隣接アンテナの隣接電極同士は同一極性である。

(5) 前記アンテナにインピーダンス素子が接続されており、望ましくは該インピーダンス素子はそのインピーダンスが可変である。

まず、本発明に係るプラズマ生成装置の基本構成について説明する。本発明に係るプラズマ生成装置は、その内部がプラズマ生成室となる真空容器を有する。真空容器内部は真空ポンプにより所定の真空度に維持される。この真空容器内部に、被処理基板を載置する基板台を設ける。

真空容器内に高周波アンテナを複数個設ける。これらのアンテナの一方の電極を別途設けられる電源に接続し、他方の電極は接地する。このアンテナは、例えば真空容器の側壁や天井壁等に取り付けることができる。また、これら複数のアンテナを基板台に略平行に配列する。

これらのアンテナに電源から高周波電力が供給されると、各アンテナから誘導電磁界が放射され、それによりプラズマが生成される。このとき、本発明の装置ではアンテナが基板台に略平行に配列されているため、基板台からの各アンテナの高さが略等しくなり、アンテナからのエネルギーが空間的に集中して投入されるため、高密度のプラズマを生成することができる。

また、平面状のアンテナを用いることにより、平面状の領域に集中してアンテナ

ナからのエネルギーが投入されるため、立体的な形状のアンテナを用いる場合よりも高密度のプラズマを生成することができる。

アンテナの導体を真空容器内に配置すると、生成されるプラズマにアンテナ表面が晒され、導体が劣化する。これを防止するため、アンテナの表面を絶縁体で被覆することが望ましい。この被覆はまた、アンテナの導体とプラズマとの静電結合を抑制し、それにより、異常放電やプラズマの乱れを防ぐ役割をも有する。この被覆については上記特許文献 2 に詳しく記載されている。

次に、上記(1)の構成を有するプラズマ生成装置について説明する。この装置では、アンテナを構成する導体の長さを、供給される高周波電力の $1/4$ 波長の長さよりも短くする。導体は線状のものには限られず、例えば板状のものであっても電流の流れる方向の長さが高周波の波長の $1/4$ よりも短かければよい。このような構成とすることにより、導体表面に定在波が生じることを防ぐことができ、それにより真空容器内のプラズマの均一性が損なわれることを防ぐことができる。

次に、上記(2)の構成を有するプラズマ生成装置について説明する。上記基本構成において、複数のアンテナを並列に板状導体に接続する。この板状導体を介して電源からアンテナに高周波電力を供給する。アンテナへ高周波電力が効率よく供給されるためには、電源とアンテナの間の接続部におけるインピーダンスが小さくなるようにする必要がある。この接続に板状導体を用い、該板状導体の幅を十分広くすることにより、この接続部のインピーダンスを小さく抑えることができる。また、電力供給により接続部の導体の温度が上昇すると電気抵抗が増加するが、板状導体を用いることにより、効率よく放熱することができるためインピーダンスの上昇を抑えることができる。

また、(2)の構成において、アンテナに電力を供給する電源と板状導体の接続点と、各々のアンテナと板状導体の接続点の両接続点の間で定在波が生じると、その定在波により、電源と板状導体の接続点において、板状導体に投入される高周波電力の大きさが制約される。そこで、両接続点間の距離を高周波の $1/4$ 波長の長さよりも短くすることにより、板状導体に定在波が生じることを防ぎ、所定の高

周波電力を投入することができるようになる。更に、アンテナ導体の長さと同接点間距離との和を高周波電力の1/4波長の長さよりも短くすることが望ましい。

次に、上記(3)の構成を有するプラズマ生成装置について説明する。この構成においては、従来考慮されていなかったアンテナのアスペクト比に着目する。本願発明者らは、そのアンテナが指向する領域(アンテナの取付部から内壁に垂直な方向にある領域)のプラズマ電子エネルギーやプラズマ密度がアスペクト比に依存することを見出した。例えば、アンテナに印加する高周波電圧を一定とした場合、アスペクト比を大きくするほど、そのアンテナが指向する領域のプラズマ電子エネルギーが高くなる。その理由は次のように考えられる。アスペクト比を大きくすると、アンテナの指向方向に生じる誘導電界が大きくなる。アンテナ近傍に生成されたプラズマ電子が、この電位差によって指向方向に強く加速されるため、その方向にある領域のプラズマ電子エネルギーが高くなる。

プラズマ電子エネルギーの大きさによって、プラズマ電子と衝突してその領域に生成されるイオン種やラジカル種は異なるものになる。また、イオン種やラジカル種の違いによってエッチングレート等が異なる。そのため、エッチングレート等を制御しようとする領域(目的領域)を指向するアンテナのアスペクト比を種々の値に設定することによりプラズマ電子のエネルギーを調節し、目的領域に生成されるイオン種やラジカル種を制御して、そこにおけるエッチングレート等を制御することができる。

上記(3)の構成を有する装置においては、電子エネルギーの制御を、真空容器内全体の電子温度を低い状態に保ったまま行うことができる。そのため、エッチングや堆積に寄与しないシースの部分の電位を上昇させることなく、目的領域の電子エネルギーのみを制御することができる。

また、アスペクト比を大きくすることにより、加速されたプラズマ電子がプラズマ化されずに残っている原料ガス分子に衝突して更にプラズマの生成を促進する。これにより、目的領域のプラズマ密度を高くすることができる。

なお、アスペクト比は、矩形や円形等の平面状のアンテナでは上記のようにア

ンテナの、内壁に垂直な方向の長さを内壁に平行な方向の長さで除した値で定義されるが、立体的形状を有するアンテナでは、基板台に平行な面への射影における、内壁に垂直な方向の長さを内壁に平行な方向の長さで除した値で定義される。

以下に、(3)の構成を有する装置において、プラズマ電子エネルギーやプラズマ密度を制御する例について述べる。目的領域を指向するアンテナのアスペクト比を、その領域におけるプラズマ電子エネルギーやプラズマ密度等の目的値に応じて設定する。例えば、真空容器内全体のプラズマ密度を高める場合には、全てのアンテナのアスペクト比を大きくすればよい。また、真空容器内の一部領域のプラズマ電子エネルギーやプラズマ密度を高める場合には、目的領域を指向するアンテナのアスペクト比を他のアンテナのアスペクト比よりも大きくする。なお、1個のアンテナのみならず、複数個のアンテナのアスペクト比を調整してもよい。更に、真空容器内の一部領域のプラズマ電子エネルギーやプラズマ密度を低くするために、その領域を指向するアンテナのアスペクト比を他のアンテナのアスペクト比よりも小さくしてもよい。これらによりプラズマ電子エネルギーやプラズマ密度をより高い自由度で制御することができる。

真空容器内の一部領域のプラズマ密度を高める好適な例は、従来のマルチアンテナ方式の装置では外縁部よりもプラズマ密度が低くなっていた基板台中央付近の領域のプラズマ密度を高めるために用いる方法である。中央付近を指向するアンテナのアスペクト比を他のアンテナのアスペクト比よりも大きくすることにより、プラズマ生成室全体に亘りプラズマ密度の均一性を改善することができる。このように密度の均一性を改善したプラズマを用いて被処理基板に堆積処理又はエッチング処理を行うことによって、大面積に亘り均一性の高い基板を製造することができる。

真空容器内の一部領域のプラズマ密度を制御するという方法は、例えば、何らかの理由により平坦ではない部分が生じた基板に対して、その部分のプラズマ密度を制御し、堆積速度又はエッチング速度が他の部分のそれらとは異なるようにして修正する場合に用いることができる。

次に、上記(4)の構成を有するプラズマ生成装置について説明する。上記と同様に複数個のアンテナを真空容器内に設ける際に、アンテナの電極を基板台に略平行に並ぶように配列し、隣接アンテナの隣接電極同士が同一極性となるようにする。即ち、隣接電極を共に高周波電源に接続するか、又は共に接地する。

例えば、一方の電極に高周波電源を接続し他方の電極を接地したアンテナを、それらの接続を含めてそのまま平行移動するように複数個設けた場合、隣接アンテナの隣接電極間の極性は異なるものとなる。それに対して、アンテナ自体は平行移動させて高周波電源及び接地の接続は隣接アンテナとは逆になるようにアンテナを複数個設けた場合、隣接アンテナの隣接電極同士が同一極性になる。

隣接アンテナの隣接電極の極性が異なると、誘導電磁界を生成するために各アンテナに高周波電圧を印加する時に、隣接電極間に意図せぬ高周波電圧が印加され、その部分のみ局所的にプラズマ密度が高くなる。そのため、例えば基板台中央部等の、その隣接電極間以外の箇所のプラズマ密度が低くなる。それに対して上記(4)の構成によれば、隣接アンテナの隣接電極同士を同一極性とするため、各アンテナに高周波電圧を印加した時にもその隣接電極間は常に等電位であり高周波電圧が印加されない。そのため、その隣接電極間に局所的な高プラズマ密度領域が形成されることがなく、プラズマ密度が均一化される。また、プラズマ密度の均一性を悪化させることなく隣接アンテナ間の距離を狭くしアンテナの設置密度を高くすることができるため、全体としてプラズマ密度を高くすることができる。更に、極性を同一にする電極を適宜選択することにより、プラズマ密度の分布を制御することができる。

次に、上記(5)の構成を有するプラズマ生成装置について説明する。この構成においては、各アンテナに、アンテナの電圧又は電流を調節するためのインピーダンス素子を接続する。各アンテナを高周波電源に接続する際には、典型的には、コスト上の理由等により高周波電源1個あたりに複数個のアンテナを並列に接続するが、1個のアンテナに1個の高周波電源を接続してもよい。

1個の高周波電源から複数個のアンテナに高周波電力を供給する場合、高周波電源とアンテナとを接続する導体の形状や長さ、あるいは温度分布等により、各

アンテナに供給される高周波電力がアンテナ毎に異なるようになる。前記接続用の導体が板状導体の場合には、特に温度分布の影響が顕著になる。そこで、本発明のプラズマ生成装置では、各インピーダンス素子のインピーダンス値を調節することにより、各アンテナに供給される高周波電力の差が小さくなるようにする。これにより、真空容器内に生成されるプラズマの密度の均一性が向上する。

例えば、前記の板状導体を用いて複数個のアンテナを高周波電源に並列に接続した場合、表面からの放熱の影響により、板状導体の温度は中央付近よりも端付近の方が低くなる。そのため、板状導体の端付近に接続したアンテナと高周波電源の間のインピーダンス値が、中央付近に接続したアンテナ－高周波電源間のそれよりも小さくなる。そこで、板状導体の端付近のアンテナに接続したインピーダンス素子のインピーダンス値を大きくする。これにより、各アンテナ－高周波電源間のインピーダンス値の差が小さくなり、各アンテナに供給される高周波電力を平準化することができる。

また、何らかの要因により真空領域内の一部領域のプラズマ密度が上昇又は下降した場合に、その領域を指向するアンテナのインピーダンス素子のインピーダンス値を調節することにより、その領域のプラズマ密度を他の領域の値に近づけることができる。これは、複数個のアンテナを1個の高周波電源に並列に接続した場合に限らず、1個の高周波電源にアンテナを1個のみ接続した場合にも適用可能である。

一部のアンテナにのみインピーダンス素子を接続してそのアンテナの電圧又は電流を調節してもよい。例えば、複数のアンテナのうち、一部のアンテナにはインピーダンス素子を設けずに常に最大の電力を供給し、他のアンテナに対してはインピーダンス素子を設けてその値を調節することにより電力供給を制限する。

アンテナに接続するインピーダンス素子には、インピーダンス値が固定のものと可変のものいずれを用いてもよい。固定インピーダンス素子は、例えば各アンテナと高周波電源の間のインピーダンス値が予め明らかであり、その値に再現性がある場合に用いることができる。一方、可変インピーダンス素子は、上記の場合に加えて、アンテナ－高周波電源間のインピーダンス値が未知である場合、温度等の条件により異なる場合、時間変化する場合等にも用いることができる。

様々な条件及びそれらの変化に応じて可変インピーダンス素子のインピーダンス値を調節することにより、生成されるプラズマの密度を均一にすることができる。

この可変インピーダンス素子のインピーダンス値の調節は、真空容器内部のプラズマの状態をモニターし、それをフィードバックして行うことが望ましい。これにより、板状導体の温度変化に伴う、プラズマ密度の時間変化に対応することができる。そのために、本発明のプラズマ生成装置に、更に、プラズマの状態を表すことができるパラメータを測定する測定部と、そのパラメータを元に各可変インピーダンス素子のインピーダンス値を設定する制御部とを設けることが望ましい。測定部はプラズマ密度を直接測定するものでもよいが、より測定が容易な、各アンテナの電流又は電圧を測定することにより、生成されるプラズマの密度を間接的に測定するものでもよい。

測定部は、例えば以下のように構成される。アンテナの近傍にピックアップコイルを配置して、このピックアップコイルに誘起される誘導起電力を測定することにより、各アンテナの電流を容易に測定することができる。また、アンテナの近傍にキャパシタを配置して、このキャパシタに流出入する電流を測定することにより、各アンテナの電圧を容易に測定することができる。アンテナを構成する導体の端部を真空容器の外部に突出させることにより、その端部の近傍、即ち真空容器の外側にピックアップコイルやキャパシタを配置することができる。これにより、ピックアップコイルやキャパシタがプラズマに侵食されることなくアンテナの電流や電圧を測定することができる。

生成されるプラズマの密度はアンテナに投入される電力に比例するため、プラズマ密度をより正確に測定するためには、アンテナの電流又は電圧の一方のみを測定するよりも、その両方、即ちアンテナに投入される電力を測定することがより望ましい。そのためには、上記の方法で得られるアンテナ電流の信号とアンテナ電圧の信号とを乗算すればよい。この乗算は、例えば両者を合成する信号合成器(ミキサ)を用いて行うことができる。信号合成器で得られた信号には高周波成分が含まれるため、ローパスフィルタにより高周波成分を除去することが望ましい。こうして得られた信号はアンテナに投入される電力に比例する。

以上に述べた各構成のいずれにおいても、複数本のアンテナ各々を1又は複数のアンテナからなる複数のグループに分け、各々のグループにおいて高周波電力が各々のアンテナに並列に供給されるようにすることが望ましい。このような構成とすることにより、全てのアンテナに1つの高周波電源から電力を供給するよりも高周波電源への負荷が低減され、それにより、生成されるプラズマ密度を高くすることができる。

また、以上に述べた各構成のプラズマ生成装置により、従来より均一で高密度のプラズマ状態を実現することができるため、この装置を用いて堆積処理やエッチング処理を行うことにより、従来よりも表面が平坦な基板を効率よく製造することができる。

図面の簡単な説明

第1図 本発明に係るプラズマ生成装置の第1実施例の鉛直方向の断面図。

第2図 第1実施例のプラズマ生成装置の側面図。

第3図 第1実施例のプラズマ生成装置の平面図。

第4図 第1実施例のプラズマ生成装置において測定された、真空容器中心部のプラズマの状態を示すグラフ。

第5図 第1実施例のプラズマ生成装置において測定された、真空容器内のプラズマ密度分布を示す図。

第6図 位相調整機能を有するプラズマ生成装置の例を示す概略構成図。

第7図 高周波電源間の位相差を変化させた時のプラズマ密度の変化を示すグラフ。

第8図 アンテナ導体の側壁方向の長さ及びアンテナの個数が異なるプラズマ生成装置の例を示す平面図。

第9図 アンテナ導体の側壁方向の長さ及びアンテナの個数の違いによるプラズマ電位及びフローティング電位の振幅の違いを示すグラフ。

第10図 本発明に係るプラズマ生成装置の第2実施例の平面図。

第11図 アスペクト比の異なる複数種類のアンテナを示す模式図。

第 1 2 図 第 2 実施例及び比較例のプラズマ生成装置の真空容器中央におけるプラズマ密度を示すグラフ。

第 1 3 図 第 2 実施例及び比較例のプラズマ生成装置の真空容器中央における電子エネルギー分布を示すグラフ。

第 1 4 図 アンテナ毎のアスペクト比を異なるものとしたプラズマ生成装置の一例を示す平面図。

第 1 5 図 第 1 4 図のプラズマ生成装置及び比較例の装置のプラズマ密度分布を示す図。

第 1 6 図 本発明に係るプラズマ生成装置の第 3 実施例の平面図。

第 1 7 図 隣接アンテナ間の隙間及びその間における出に差についての説明図。

第 1 8 図 第 3 実施例及び比較例のプラズマ生成装置の真空容器中央におけるプラズマ密度を示すグラフ。

第 1 9 図 第 3 実施例及び比較例のプラズマ生成装置により生成されるプラズマ密度の空間分布を示すグラフ。

第 2 0 図 本発明に係るプラズマ生成装置の第 4 実施例の平面図。

第 2 1 図 インピーダンス素子の一例を示す図。

第 2 2 図 第 4 実施例のプラズマ生成装置の鉛直方向の断面図。

第 2 3 図 ダイオードブリッジ回路の一例を示す図。

第 2 4 図 第 4 実施例の生成装置により生成されるプラズマ密度の空間分布を示すグラフ。

発明を実施するための最良の形態

(第 1 実施例)

第 1 図に本発明に係るプラズマ生成装置の第 1 実施例の鉛直方向の断面図を、第 2 図に該装置の側面図を、第 3 図に該装置の平面図を、それぞれ示す。

真空容器 1 1 の内部が本プラズマ生成装置のプラズマ生成室となる。真空容器 1 1 内部は第 3 図に示すように平面形状が矩形（長方形）であり、その長辺の長さは 1300mm、短辺の長さは 1000mm である。真空容器 1 1 には真空ポンプ（図示せ

ず)が接続され、真空容器11内部が所定の真空度に維持される。真空容器11内に被処理基板13を載置するための、長辺94cm、短辺76cmの矩形の平面状の基板台14を設ける。基板台14は、その下部に設けた昇降部14aにより昇降可能となっている。また、真空容器11の下側部には被処理基板13を出し入れするための基板出入口12を設ける。

真空容器11内上部には、内壁に沿って水平に真空容器11内を一周分周回する周回部と、真空容器11外部に接続する接続部から成るガスパイプ15を設ける。このガスパイプ15の周回部の表面には、多数の孔を、真空容器11内に均等にガスを導入するために適宜分布で配置する。なお、本実施例のような真空容器11内を周回するガスパイプ15の代わりに、真空容器の側壁又は/及び天井壁を貫く短いパイプを設けてもよい。この場合、真空容器11内に均等にガスを導入するために複数のパイプを側壁又は/及び天井壁に適宜分布で配置することが望ましい。

真空容器11の4つの側壁のうちその水平方向に長い方の2面には4個ずつ、短い方の2面には3個ずつ等間隔に高周波アンテナ16を設ける(第3図参照)。いずれのアンテナ16も基板台14からの高さは180mmである。各アンテナ16の2つの電極のうち、一方を後述のように高周波電源18に接続し、他方を接地する。例えば各アンテナの接地側電極を真空容器11の側壁に接続し、この側壁を接地することにより接地側電極を接地することができる。また、高周波電源18側の電極に、接地から浮遊(フローティング)させる固定又は可変のプロッキングコンデンサを挿入するようにしてもよい。本実施例では、高周波電源18から供給される電力の周波数は13.56MHzである。

アンテナ16の電極間の導体の長さは450mmであり、アンテナ16に印加される高周波の波長(10,000~15,000mm)の1/4よりも短い。これにより、定在波が生じてプラズマの均一性が損なわれることがない。

アンテナ16の導体のうち真空容器11内にある部分は、その表面が絶縁体で被覆されている。また、高周波アンテナ16の形状はU字形であり、このように周回しないアンテナを用いることによりアンテナのインダクタンスが低減される。ここで述べた、絶縁体で被覆されたアンテナ及び周回しないアンテナについて

は、特許文献 2 に詳しく説明されている。

本実施例では 1 つの高周波電源 18 に、1 つの真空容器側壁に設けた 3 個又は 4 個のアンテナを並列に接続する。各アンテナ 16 と高周波電源 18 との接続には、第 2 図に示すように、板状導体 19 を用いる。この板状導体 19 は、真空容器 11 の外側壁に沿うように設けられ、例えば銅板から成る。高周波電源 18 をインピーダンス整合器 17 を介して銅板の 1 点（高周波電力供給点 20）に接続すると共に、アンテナ 16 の一方の電極（第 2 図中の白丸）を銅板に接続する。なお、第 2 図中の黒丸は接地側の電極を示す。銅板に接続された各アンテナ 16 の電極と高周波電力供給点 20 との距離は、アンテナ 16 に印加される高周波の波長の 1/4 よりも短い。銅板の幅を広くすることにより、この距離を長くすることができる。

本実施例のプラズマ生成装置の動作を説明する。昇降部 14a を動作させて基板台 14 を降下させる。被処理基板 13 を基板出入口 12 から真空容器 11 内に入れ、基板台 14 上に載置した後、基板台 14 を所定の位置まで上昇させる。真空容器内を所定の圧力まで減圧した後、プラズマの原料ガスを所定のガス圧でガスパイプ 15 に導入し、4 台の高周波電源 18 から所定の高周波電力を各高周波アンテナ 16 に供給する。これにより、複数の高周波アンテナ 16 からそれぞれ生成される誘導電界により、プラズマが生成される。

以下、第 1 実施例のプラズマ生成装置において生成されるプラズマ密度やプラズマ電子エネルギーについて実験結果を用いて説明する。

第 4 図に、第 1 実施例のプラズマ生成装置において、アルゴン (Ar) プラズマ (Ar ガス流量：50ccm、ガス圧：0.66Pa 及び 1.33Pa でそれぞれ測定) を生成し、真空容器 11 の中心部（天井壁の内側面から鉛直下側へ 160mm の位置）のプラズマ状態についてラングミュアプローブ法を用いて測定した結果を示す。第 4 図 (a) に示すデータは、プラズマ電位 V_p 及びフローティング電位 V_f を、全アンテナ 16 に供給される高周波電力の合計値を変えながら測定したものである。(b) に示すデータは、プラズマイオン密度 N_i 、プラズマ電子密度 N_e 及びプラズマ電子エネルギー T_e を前記高周波電力の合計値を変えながら測定したものである。プラズマ電位 V_p 及びフローティング電位 V_f は、供給される電力の増加に応じて減少し、プラズマイオン

密度 N_i 、プラズマ電子密度 N_e 及びプラズマ電子エネルギー T_e は電力の増加に応じて増加する。また、第4図からわかるように、第1実施例のプラズマ生成装置により、各種のプラズマプロセスに適した 1×10^{11} 以上の高プラズマ密度で20V以下の低プラズマ電位のプラズマを生成することができる。

第5図に、真空容器11内の天井壁の内側面から鉛直下側へ195mmの高さにおけるプラズマ密度の平面分布（プラズマの均一性）を測定した結果を示す。ここでは、ラングミュアプローブ法により得られたイオン飽和電流密度により評価を行う。イオン飽和電流密度はプラズマイオン密度に対応する。(a)は、第1実施例のプラズマ生成装置に設けられた4個の高周波電源18からそれぞれ1000Wずつの電力を供給した場合の測定結果である。一方、(a)は、4個のアンテナに接続された高周波電源18からは1300W、3個のアンテナに接続された高周波電源18からは700Wの電力を供給した場合の測定結果である。従って、供給される電力の合計は(a)、(b)いずれの場合も4000Wである。(a)よりも(b)の方がプラズマ密度の平面分布の均一性が高い。特に、図(b)中に示したグリッドB、2、D、4で囲まれる領域ではプラズマ密度がほぼ均一になっている。このように、アンテナに供給される電力を電源毎に調整することにより、プラズマ密度分布を制御することができる。

第6図に、高周波電源毎に高周波電力の位相を調整する機能を有するプラズマ生成装置の構成を示す。この装置では、各高周波電源18a～18dに対応して配置したインピーダンス整合器19の出力側に波形検出器（又は位相検出器）21を設ける。波形検出器21はアンテナ16に供給される高周波電力の波形を随時取り込み、その波形信号を位相調整器22へ送る。位相調整器22はこの波形信号から各高周波電源18間の位相差を検出し、その結果に基づいて、予め設定された位相差になるように各高周波電源18に位相制御信号を送信する。各高周波電源18は高周波電力の位相を調整して出力する。

第7図に、第6図のプラズマ生成装置において高周波電源間の位相差を変化させた時のプラズマ密度の変化を測定した結果を示す。第7図の縦軸は真空容器の中心付近の測定点におけるプラズマ電子密度 N_e である。横軸は高周波電源18a－18b、18b－18c、18c－18d間の位相差を示す。測定結果より、位相差が大きくなるほどプラズマ密度が増加することがわかる。これは、アンテ

ナ間の位相が異なることにより、それらのアンテナ間で電子が加速され、その結果、プラズマ密度が増加したものと考えられる。このような電子加速の強度はアンテナの形状やアンテナ間距離、ガス圧、真空容器 11 のサイズ等の様々な要因により変化すると考えられるため、プラズマ密度が最も高くなるように位相差を適宜調整する。

第 8 図に、第 1 実施例のプラズマ生成装置において、アンテナ導体の側壁方向の長さ a を長くすると共に、アンテナの本数を減らした例を示す。(a) は長さ a が第 3 図のその 1.56 倍であるアンテナ 23a を真空容器の長辺側の内壁に 2 個ずつ、同じく 1.27 倍であるアンテナ 24a を短辺側の内壁に 2 個ずつ、それぞれ設けたものである。(b) は長さ a が第 3 図のその 2.67 倍であるアンテナ 23b を真空容器の長辺側の内壁に 1 個ずつ、同じく 2.20 倍であるアンテナ 24b を短辺側の内壁に 1 個ずつ、それぞれ設けたものである。これらの構成においては、アンテナ導体の長さを長くすることによりアンテナ自体のインダクタンスが大きくなると共に、アンテナの本数が減ることによりアンテナ 1 個あたりに供給される高周波電力が大きくなる。

第 9 図に、第 3 図及び第 8 図(a)、(b)の装置についてプラズマ電位及びフローティング電位の振幅を測定した結果を示す。アンテナの導体を長くし、電源あたりのアンテナの本数を少なくする程、プラズマ電位及びフローティング電位の振幅が大きくなる。これは、アンテナのインピーダンスが高くなることと、電源あたりのアンテナの本数が少なくなることにより、アンテナの電位が高くなったことに起因すると考えられる。このようにプラズマ電位及びフローティング電位の振幅が大きくなることは、プラズマプロセス中のイオンダメージを大きくする原因になるが、その一方で水素やヘリウム等のイオン化エネルギーの高いガスプラズマを生成する場合には有効である。

(第 2 実施例)

第 2 実施例では、アンテナのアスペクト比に着目したプラズマ生成装置の構成について説明する。

第 10 図に第 2 実施例の平面図を示す。このプラズマ生成装置は、第 1 実施例の装置の構成のうち、アンテナ 26 のアスペクト比のみを変更したものである。

そのため、第10図には、第1実施例と同じ構成要素については第3図と同じ符号を付した。高周波電源の個数や、各高周波電源に接続されるアンテナの個数も第1実施例と同じである。この図の装置では、全てのアンテナ26のアスペクト比を、第11図(a)に示すように2(縦:横=2:1)とした。なお、第1実施例のアンテナ16のアスペクト比は、第11図(b)に示すように1(縦:横=1:1)である。第2実施例のアンテナ26の導体が囲む領域の面積 S は、第1実施例のアンテナ16のそれと同一とした。

以下、第2実施例のプラズマ生成装置において生成されるプラズマ密度やプラズマ電子エネルギーについて実験結果を用いて説明する。ここではアスペクト比の変化による効果を見るために、全ての高周波アンテナのアスペクト比を2(本実施例、第11図(a)のアンテナ)、1(第1実施例、第11図(b)のアンテナ)及び0.5(第11図(c)のアンテナ)に揃えた3種類のプラズマ生成装置について測定を行った。アスペクト比が1の高周波アンテナの1辺の長さは15cmである。この実験においては、真空容器内にアルゴンガスを1.33Paのガス圧まで供給し、各高周波アンテナに周波数13.56MHzの高周波電力を供給してアルゴンプラズマを生成した。また、プラズマ密度の測定にはラングミュアプローブ法を用いた。

第12図に、これらの3種類のプラズマ生成装置について、基板台中央の直上の、高周波アンテナと同じ高さにおけるプラズマ密度を測定した結果を示す。ここで、縦軸は対数スケールで表したプラズマ密度であり、横軸は各高周波電源が供給する高周波電力の大きさである。高周波電力を同一とした場合、アスペクト比が2の高周波アンテナを用いた本実施例の装置の方が、アスペクト比が1及び0.5の高周波アンテナを用いた装置よりも高いプラズマ密度を得ることができる。

第13図に、第12図と同じ3種の装置について、基板台中央直上におけるプラズマ電子のエネルギー分布を測定した結果を示す。各高周波電源が供給する高周波電力の大きさは2000Wとした。高周波電力以外のパラメータは、第12図に示す測定の際のパラメータと同じである。縦軸は対数スケールである。アスペクト比が2である装置において、アスペクト比がそれ以外の値である装置よりも、10~18eVのエネルギーを持つプラズマ電子が増加している。この高エネルギーの電子は、高周波アンテナに発生する電位差によって加速されて生成される電子であ

る。アスペクト比によってこの電子が生成され飛来する方向が変化する。本実施例のU字形高周波アンテナにおいては、高エネルギー電子は高周波アンテナの長手方向に生成されることから、アスペクト比が2の場合には、アスペクト比が1や0.5の場合よりも高エネルギー電子が多く存在するようになる。

また、第13図の結果は高周波アンテナのアスペクト比を変えることによりプラズマ中の電子エネルギーを制御することができることを示している。それにより、イオン種やラジカル種等のプラズマプロセスにおいて重要な因子を制御することもできる。

次に、第14図の平面図に示すように、アンテナ毎のアスペクト比を異なるものとした例について説明する。第14図に示すプラズマ生成装置では、真空容器11の長辺側の側壁に設けた4個の高周波アンテナのうち中央の2個の高周波アンテナ、及び短辺側の側壁に設けた3個の高周波アンテナのうち中央の1個の高周波アンテナ(例えば高周波アンテナ26a)のアスペクト比を2とし、真空容器11の四隅に近い高周波アンテナ(例えば高周波アンテナ26b)のアスペクト比を1とする。これは、目的領域である基板台の中心付近のプラズマ密度を大きくするために、そこを指向する高周波アンテナのアスペクト比を大きくしたものである。

第15図(a)に、第14図の装置を用いて高周波アンテナと同じ高さにおけるプラズマ密度の空間分布を測定した結果を示す。併せて、第2実施例に対する比較例として第15図(b)に、全ての高周波アンテナのアスペクト比を1とした装置について同様の測定を行った結果を示す。ここでは、各高周波電源が供給する高周波電力の大きさを1000Wとし、それ以外のプラズマ生成条件は上記第2実施例の条件と同じとした。第15図より、第14図の装置では、中心部のプラズマ密度が比較例のそれよりも高くなるのに対して、外縁部のプラズマ密度が高くなることが抑制され、その結果、比較例の装置よりもプラズマ密度の均一性が改善されていることがわかる。

(第3実施例)

第3実施例では、隣接アンテナの隣接電極同士の極性に着目したプラズマ生成装置の構成について説明する。

第16図に第3実施例の平面図を示す。第1実施例と同じ構成要素については

第3図と同じ符号を付した。高周波電源の個数や、各高周波電源に接続するアンテナの個数は第1実施例と同じである。このプラズマ生成装置は、第1実施例の装置の構成のうち、各高周波アンテナ16の電極の極性のみを変更したものである。具体的には、同一の側壁に設けられた3個又は4個のアンテナから成るアンテナ群内では、隣接する高周波アンテナ同士において隣接電極同士を同極性とする。例えばアンテナ群31aでは、隣接する高周波アンテナ16aと高周波アンテナ16bにおいては互いに隣接する側の電極を共にインピーダンス整合器17ー高周波電源18に接続し、高周波アンテナ16bと高周波アンテナ16cにおいては互いに隣接する側の電極を共に接地する。

第17図(b)に示すように、隣接する高周波アンテナ同士において互いに近接する側の端子を逆極性とした場合には、隣接アンテナ間の隙間32において隣接電極間に電位差が生じる。このため、この隙間32におけるプラズマ濃度が他の位置よりも高くなる。また、それに伴って他の位置のプラズマ濃度が低下する。それに対して、第3実施例の装置では隣接アンテナ同士の隣接電極を同極性とすることにより、隙間32における隣接電極間に電位差が生じることがない。このため、この隙間32において端子間電位差の存在によりプラズマ濃度が上昇することを防ぎ、その他の部分のプラズマ濃度が低下することを防ぐことができる。

以下に、第3実施例のプラズマ生成装置において生成されるプラズマの密度を測定した結果を示す。この実験においては、真空容器内にアルゴンガスを1.33Paのガス圧まで供給し、各高周波アンテナに周波数13.56MHzの高周波電力を供給してアルゴンプラズマを生成した。その他の条件は各測定の説明の際に示す。また、プラズマ密度の測定にはラングミュアプローブ法を用いた。

第18図に、第3実施例のプラズマ生成装置について、高周波アンテナと同じ高さであって基板台中央の直上においてプラズマ密度を測定した結果を示す。この図には併せて、比較のために隣接電極同士を逆極性としたプラズマ生成装置についての測定結果を示す。ここで、縦軸は対数スケールで表したプラズマ電子密度であり、横軸は各高周波電源が供給する高周波電力の大きさである。高周波電力の値がいずれの場合も、本実施例の装置の方が比較例の装置よりも高いプラズマ密度を得ることができる。特に、高周波電力が1200W～2500Wの場合、本実施例

のプラズマ密度は比較例のプラズマ密度の約2倍となる。

第19図に、プラズマ密度の空間分布を測定した結果を示す。その際の測定条件は以下の通りである。高周波電力は、第16図に示す1組のアンテナ群31bにのみ供給する。高周波電源が供給する高周波電力の大きさは1500Wである。プラズマ密度の測定点である第19図の横軸は、アンテナ群31bを設けた側壁に平行に13cm離れた直線上の位置を表す。第19図より、比較例のプラズマ生成装置においては、端部のプラズマ密度が中心付近のプラズマ密度よりも低くなり、プラズマ密度の空間分布の偏りが見られる。それに対して本実施例のプラズマ生成装置においては、プラズマ密度の空間分布の偏りが比較例のプラズマ生成装置におけるそれよりも小さくなり、プラズマ密度分布の均一性が改善される。

(第4実施例)

第4実施例では、アンテナにインピーダンス素子が接続されたプラズマ生成装置の構成について説明する。

第20図に第4実施例の平面図を示す。第1実施例と同じ構成要素については第3図と同じ符号を付した。高周波電源の個数や、各高周波電源に接続されるアンテナの個数は第1実施例と同じである。このプラズマ生成装置は、第1実施例の装置の構成において、各高周波アンテナ16の一方の電極とインピーダンス整合器17の間にインピーダンス素子41を接続する。インピーダンス素子41として、例えば第21図に示すような可変インダクタンスコイル42を用いることができる。なお、可変インダクタンスコイル42のインダクタンス値の調節は手動で行ってもよいが、後述のフィードバック制御を行う場合にはドライバ43を設けて自動で行うことが望ましい。なお、本実施例ではインピーダンス素子41をアンテナ16の高周波電源20側の電極に接続したが、インピーダンス素子41を接地側の電極に接続してもよい。

また、第4実施例では、第22図の鉛直方向断面図に示すようにピックアップコイル44及びキャパシタ45を設ける。高周波アンテナ16の一部が真空容器11の外部に突出するように設けられているため、ピックアップコイル44及びキャパシタ45は、プラズマにより侵食されることがないように、該突出部の近傍に設けるとよい。ピックアップコイル44は電流測定用であるため、高周波ア

ンテナ 16 の接地側、高周波電源への接続側のいずれに設けてもよい。各ピックアップコイル 44 及びキャパシタ 45 にはそれぞれ、ピックアップコイル 44 又はキャパシタ 45 からの交流信号を直流信号に変換するために、第 23 図に示すようなブリッジ回路 46 を接続する。ブリッジ回路の代わりに交流信号を検波して直流信号を出力する検波器を用いてもよい。更に、これらの信号を入力してインピーダンス素子 41 のインピーダンス値を設定するための信号を出力する制御部 47 を設ける（第 20 図）。

本実施例のプラズマ生成装置では、例えば銅板 19 に温度分布が生じる等の原因によりプラズマ密度に分布が生じた場合に、各インピーダンス素子 41 のインピーダンス値を調節して各高周波アンテナ 16 に供給される電力を適切な値にすることにより、プラズマの密度を均一化する。ここで、生じるプラズマ密度分布に再現性があり、各インピーダンス素子において設定すべきインピーダンス値が実験等により明らかである場合には、固定インピーダンス素子を用いればよい。また、プラズマ密度分布が、使用するガスや供給する電力等の条件により異なるが同一条件下では再現性がある場合には、可変インピーダンス素子を用いてその条件に応じたインピーダンス値を設定すればよい。更に、条件によるプラズマ密度分布の差異や再現性が明らかではない場合には、プラズマ密度分布をフィードバックして可変インピーダンス素子のインピーダンス値の調節を行う。

前記のフィードバック制御は、以下のように行う。各アンテナに設けたピックアップコイル 44 からの電流の信号及び/又はキャパシタ 45 からの電圧の信号が制御部 47 に入力される。或るアンテナにおけるこれらの信号のいずれか、あるいはこれらの積から成る電力の信号が所定の値以上になった時、即ちそのアンテナの周囲のプラズマ密度が所定の値以上になった時、制御部 47 はそのアンテナに接続されたインピーダンス素子 41 に設けたドライバ 43 に、その素子のインピーダンス値を大きくするための信号を出力する。一方、アンテナにおける電流等の信号が所定の値以下の場合には、制御部 47 はドライバ 43 にインピーダンス値を小さくする信号を出力する。制御部 47 からのこれらの信号を受けたドライバ 43 は、そのインピーダンス素子のインピーダンス値を所定の値に設定する。これにより、そのインピーダンス素子の周囲のプラズマ密度を所定の範囲内

に制御することができる。

以下に、本実施例のプラズマ生成装置を用いて生成したプラズマの密度分布を測定した実験について説明する。この実験においては、第20図において破線で囲んだ3個のアンテナA, B, Cのみに高周波電力を供給し、これらのアンテナを設けた真空容器側面から13cm離れた直線上のプラズマ密度分布を、ラングミュアプローブ法を用いて測定した。ここで生成されたプラズマはアルゴンプラズマであり、アルゴンガスを1.33Paのガス圧まで供給した後、3個のアンテナA, B, Cに接続した1個の高周波電源から2000W、13.56MHzの高周波電力を供給した。

ピックアップコイル44からの信号に応じてインピーダンス素子のインピーダンス値を調節することにより、3個のアンテナA, B, Cを流れる電流の大きさの比が1:1.2:1、2:1:2及び3:1:3の3通りの状態をつくり、それぞれの場合についてプラズマ密度分布を測定した。これらの測定結果を第24図に示す。3個の高周波アンテナの各電流がほぼ等しい、電流比1:1.2:1の場合には、中央付近のプラズマ密度が高く、外縁部のそれが低くなっている。これに対して、両端の高周波アンテナの電流を大きくした電流比2:1:2の場合には、中央付近のプラズマ密度が低下する一方、外縁部のそれが上昇し、プラズマ密度の均一性が改善していることがわかる。更に両端の高周波アンテナの電流を大きくして電流比3:1:3とした場合には、電流比1:1.2:1の場合とは逆に、中央付近のプラズマ密度が低くなってしまう。

なお、このプラズマ密度分布を最適にする電流比は、プラズマガスの種類や圧力、高周波電源の供給電力等の条件により異なる。そのため、インピーダンス素子のインピーダンス値は、この電流比がそれらの条件に応じた最適な値となるように適宜調節する。

上記各実施例においてはいずれも真空容器の平面形状を矩形としたが、円形等の他の形状としてもよい。また、上記各実施例においてはアンテナを真空容器の側壁に設けたが、アンテナの一部又は全部を真空容器の天井壁に設けてもよい。

請求の範囲

1. a) 真空容器と、
b) 前記真空容器内に設けられた、被処理基板を載置する基板台と、
c) 前記真空容器内に、前記基板台に略平行に配列された複数個の高周波アンテナと、
を備えることを特徴とするプラズマ生成装置。
2. 前記アンテナが真空容器の側壁もしくは天井壁又はそれらの両方に配列されることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ生成装置。
3. 前記アンテナが前記高周波アンテナに供給される高周波電力の $1/4$ 波長の長さよりも短い導体からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ生成装置。
4. 前記複数のアンテナに並列に接続される板状導体を有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のプラズマ生成装置。
5. アンテナに電力を供給する電源と板状導体の接続点と、各々のアンテナと板状導体の接続点の両接続点間の距離が高周波の $1/4$ 波長の長さよりも短いことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ生成装置。
6. 前記アンテナ導体の長さと前記接続点間距離との和が高周波電力の $1/4$ 波長の長さよりも短いことを特徴とする請求項 3 ～ 5 のいずれかに記載のプラズマ生成装置。
7. 前記各グループに供給される高周波電力の位相を検出する位相検出器と該高周波電力の位相を調整する位相調整器を備えることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のプラズマ生成装置。
8. 前記基板台の目的領域に対応する位置のアンテナのアスペクト比が該目的領域における目的プラズマ密度又はプラズマ電子エネルギーに応じた値に設定されていることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載のプラズマ生成装置。
9. 前記目的領域における目的プラズマ密度又は電子エネルギーを高めるために、対応アンテナのアスペクト比を他のアンテナのアスペクト比よりも大きい値としたことを特徴とする請求項 8 に記載のプラズマ生成装置。

10. 前記領域が前記基板台の中心を含むことを特徴とする請求項9に記載のプラズマ生成装置。

11. アンテナの電極が前記基板台に略平行に並ぶように配列され、1組又は複数組の隣接アンテナの隣接電極同士が同一極性であることを特徴とする請求項1～10のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

12. 全てのアンテナにおいて、隣接アンテナの隣接電極同士を同一極性とすることを特徴とする請求項11に記載のプラズマ生成装置。

13. 前記アンテナにインピーダンス素子が接続されていることを特徴とする請求項1～12のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

14. 複数個のアンテナが1個の高周波電源に並列に接続されていることを特徴とする請求項13に記載のプラズマ生成装置。

15. 1個のアンテナが1個の高周波電源に接続されていることを特徴とする請求項13に記載のプラズマ生成装置。

16. 前記インピーダンス素子のインピーダンスが可変であることを特徴とする請求項13～15のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

17. 前記インピーダンス素子が可変インダクタンスコイルであることを特徴とする請求項16に記載のプラズマ生成装置。

18. 各々のアンテナの電圧又は電流を測定する測定部と、該測定部で得られた電圧又は電流の値により前記可変インピーダンス値を設定する制御部と、を備えることを特徴とする請求項16又は17に記載のプラズマ生成装置。

19. 前記測定部が、アンテナの近傍に配置され該アンテナの電流を検出するピックアップコイルを備えることを特徴とする請求項18に記載のプラズマ生成装置。

20. 前記測定部が、アンテナの近傍に配置され該アンテナに印加される電圧を検出するキャパシタを備えることを特徴とする請求項18又は19に記載のプラズマ生成装置。

21. 前記測定部が、検出された高周波電流又は電圧の信号を直流電流又は電圧の信号に変換するブリッジ回路もしくは検波器を備えることを特徴とする請求項18～20のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

22. 前記測定部が、アンテナの電流の信号と電圧の信号とを合成する信号合成器と、前記合成信号の高周波成分を除去するローパスフィルタとを備えることを特徴とする請求項18～20のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

23. 前記アンテナの表面が絶縁体で被覆されることを特徴とする請求項1～22のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

24. 前記アンテナの真空容器内における形状が平面形であることを特徴とする請求項1～23のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

25. 前記複数本のアンテナ各々が1又は複数のアンテナからなる複数のグループに分けられ、各々のグループにおいて高周波電力が各々のアンテナに並列に供給されることを特徴とする請求項1～24のいずれかに記載のプラズマ生成装置。

26. 真空容器内に、真空容器の側壁もしくは天井壁又は両方から、被処理基板を載置する基板台に略平行に配列された複数個の高周波アンテナを備えるプラズマ生成装置において、前記アンテナに供給される高周波電力を調整することにより真空容器内に形成されるプラズマの状態を制御することを特徴とするプラズマ制御方法。

27. 前記真空容器内における前記アンテナの長さを調整することによりプラズマ状態を制御することを特徴とする請求項26に記載のプラズマ制御方法。

28. 前記アンテナに供給される高周波電力の位相差を調整することによりプラズマ状態を制御することを特徴とする請求項26又は27に記載のプラズマ制御方法。

29. 前記基板台の目的領域に対応する位置のアンテナのアスペクト比を該目的領域における目的プラズマ密度若しくはプラズマ電子エネルギー又は該目的領域に生成するイオン種若しくはラジカル種に応じた値に設定することを特徴とする請求項26～28のいずれかに記載のプラズマ制御方法。

30. 前記目的領域における目的プラズマ密度又は電子エネルギーを高めるために、対応高周波アンテナのアスペクト比を他のアンテナのアスペクト比よりも大きくすることを特徴とする請求項29に記載のプラズマ制御方法。

31. 前記目的領域が前記基板台の中心を含むことを特徴とする請求項30に

記載のプラズマ制御方法。

32. 1組又は複数組の隣接アンテナの隣接電極同士を同一極性とすることにより、前記プラズマ生成装置内のプラズマ密度分布を制御することを特徴とする請求項26～31のいずれかに記載のプラズマ制御方法。

33. 全てのアンテナにおいて、隣接アンテナの隣接電極同士を同一極性とすることを特徴とする請求項32に記載のプラズマ制御方法。

34. 各々のアンテナにインピーダンス素子を接続し、インピーダンス素子を接続し、各インピーダンス素子のインピーダンス値を調節することによって該真空容器内のプラズマ密度分布を制御することを特徴とする請求項26～33のいずれかに記載のプラズマ制御方法。

35. 前記インピーダンス素子のインピーダンス値が可変であり、各々の高周波アンテナの電圧、電流又はその双方を測定し、得られた電圧、電流又はそれらの積の値により該可変インピーダンス値を制御することを特徴とする請求項34に記載のプラズマ制御方法。

36. 請求項1～25に記載のプラズマ生成装置又は請求項26～35に記載のプラズマ制御方法により原料のプラズマを生成し、該原料を堆積させることを特徴とする基板製造方法。

37. 請求項1～25に記載のプラズマ生成装置又は請求項26～35に記載のプラズマ制御方法により生成されるプラズマを用いてエッチング処理を行うことを特徴とする基板製造方法。

Fig. 1

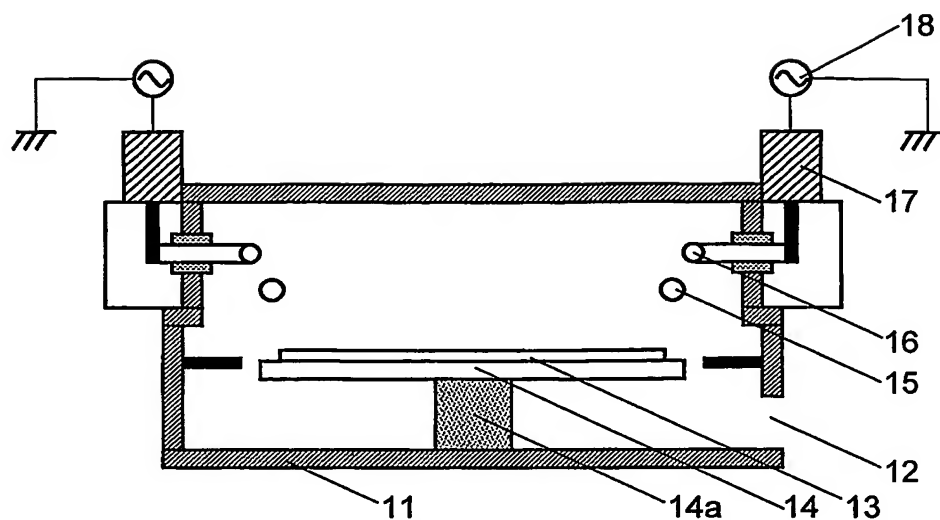


Fig. 2

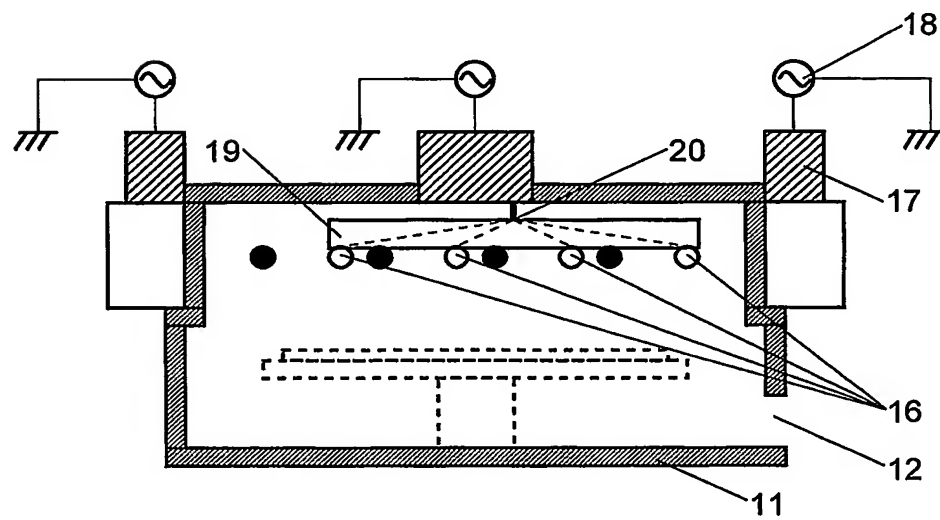


Fig. 3

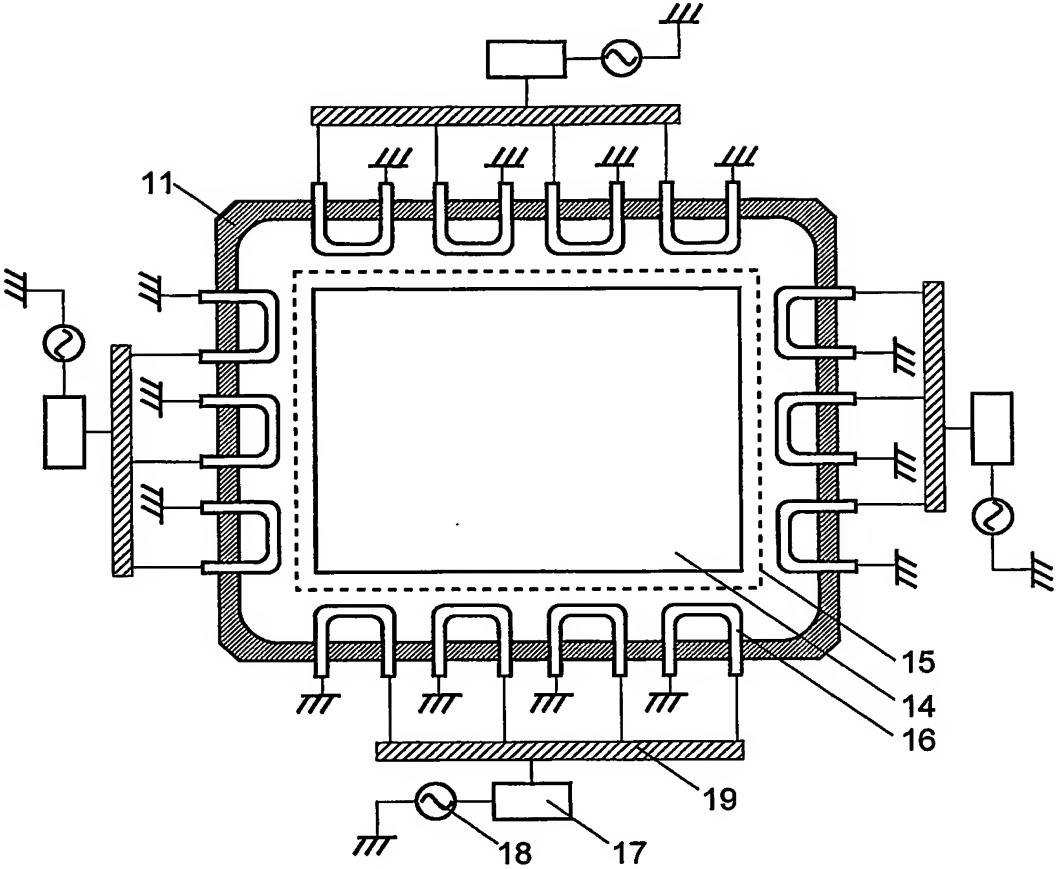
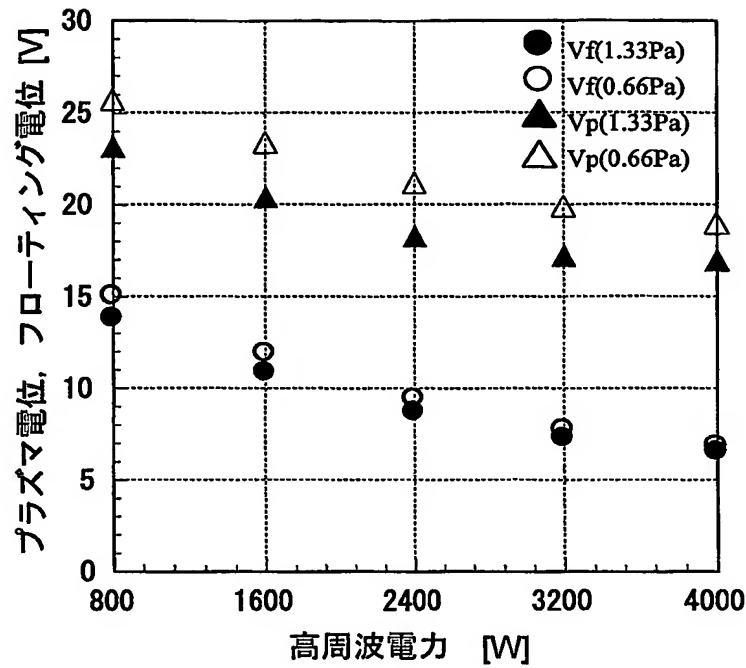


Fig. 4

(a)



(b)

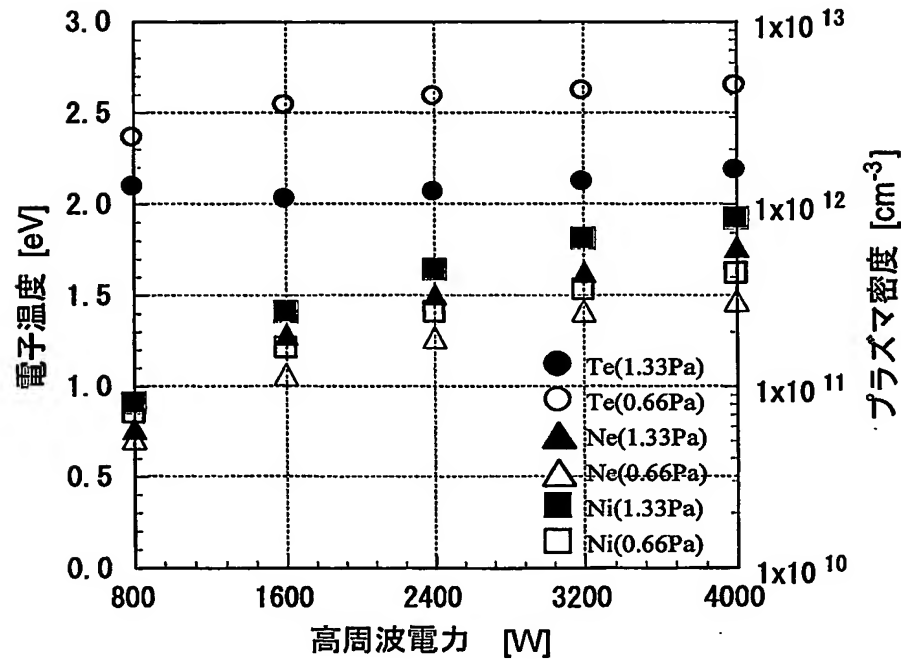
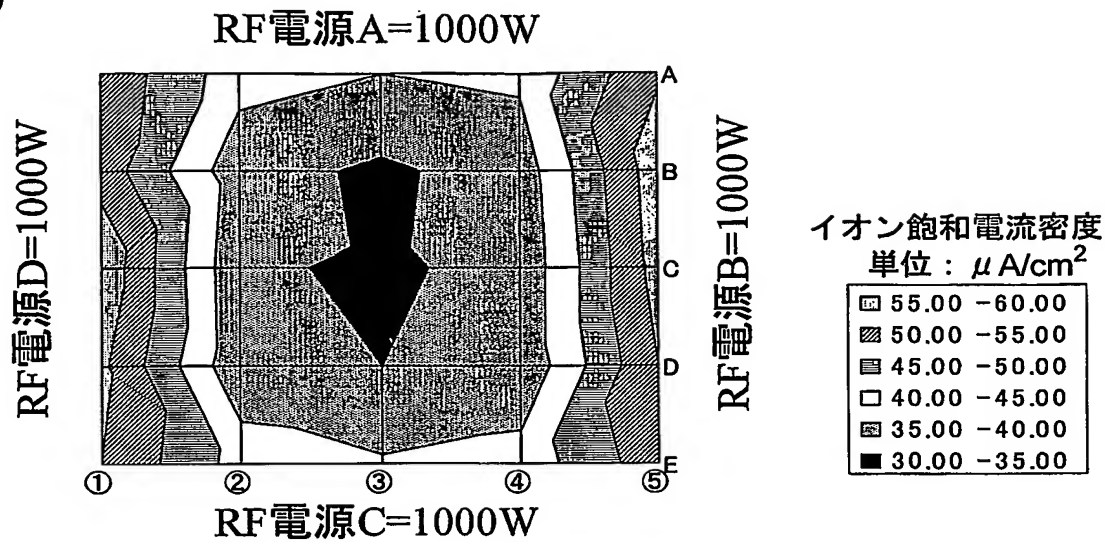


Fig. 5

(a)



(b)

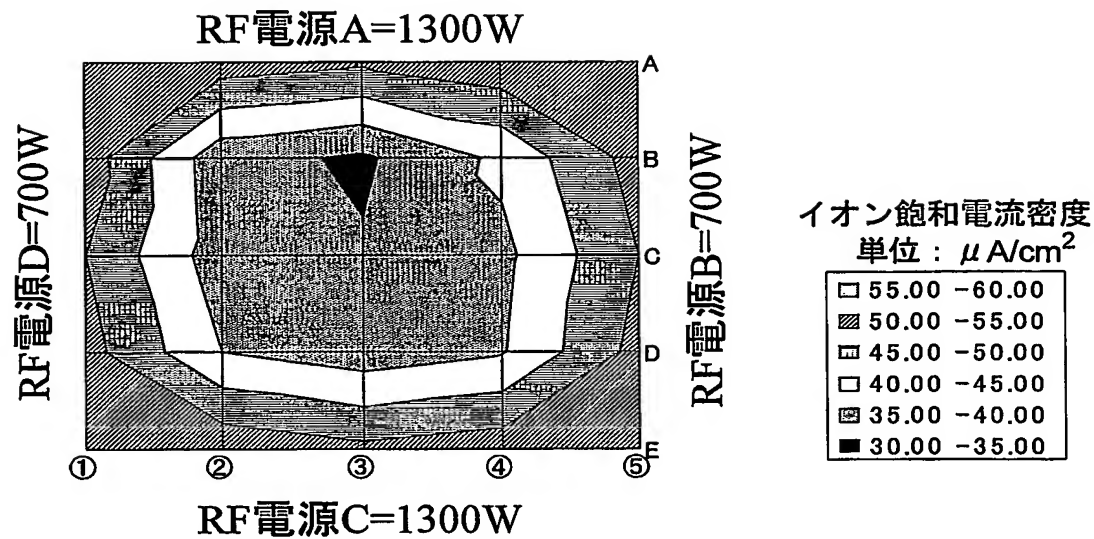


Fig. 6

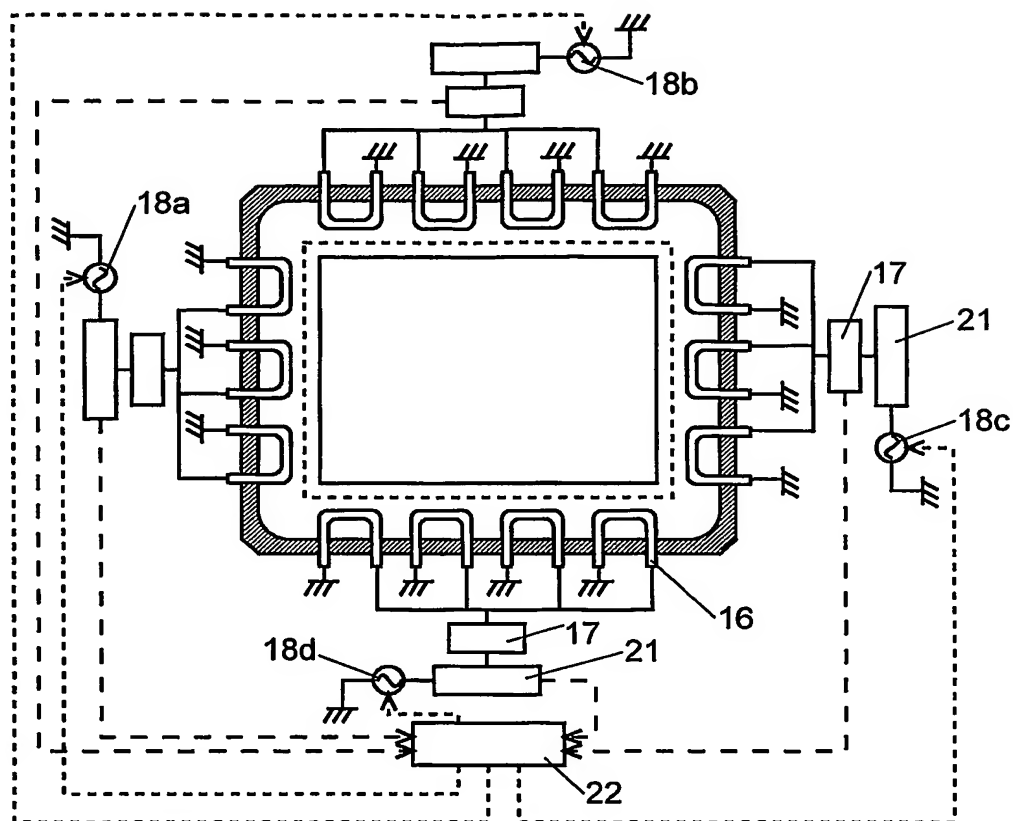


Fig. 7

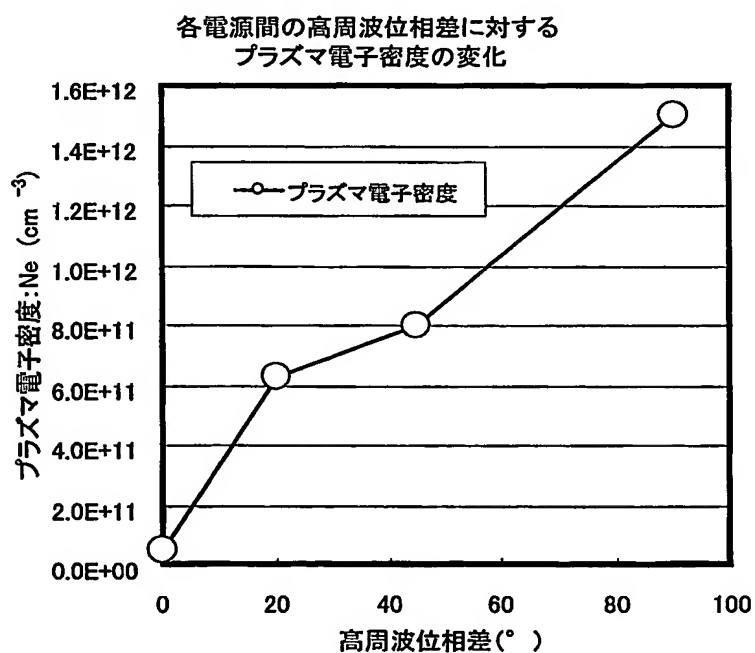


Fig. 8

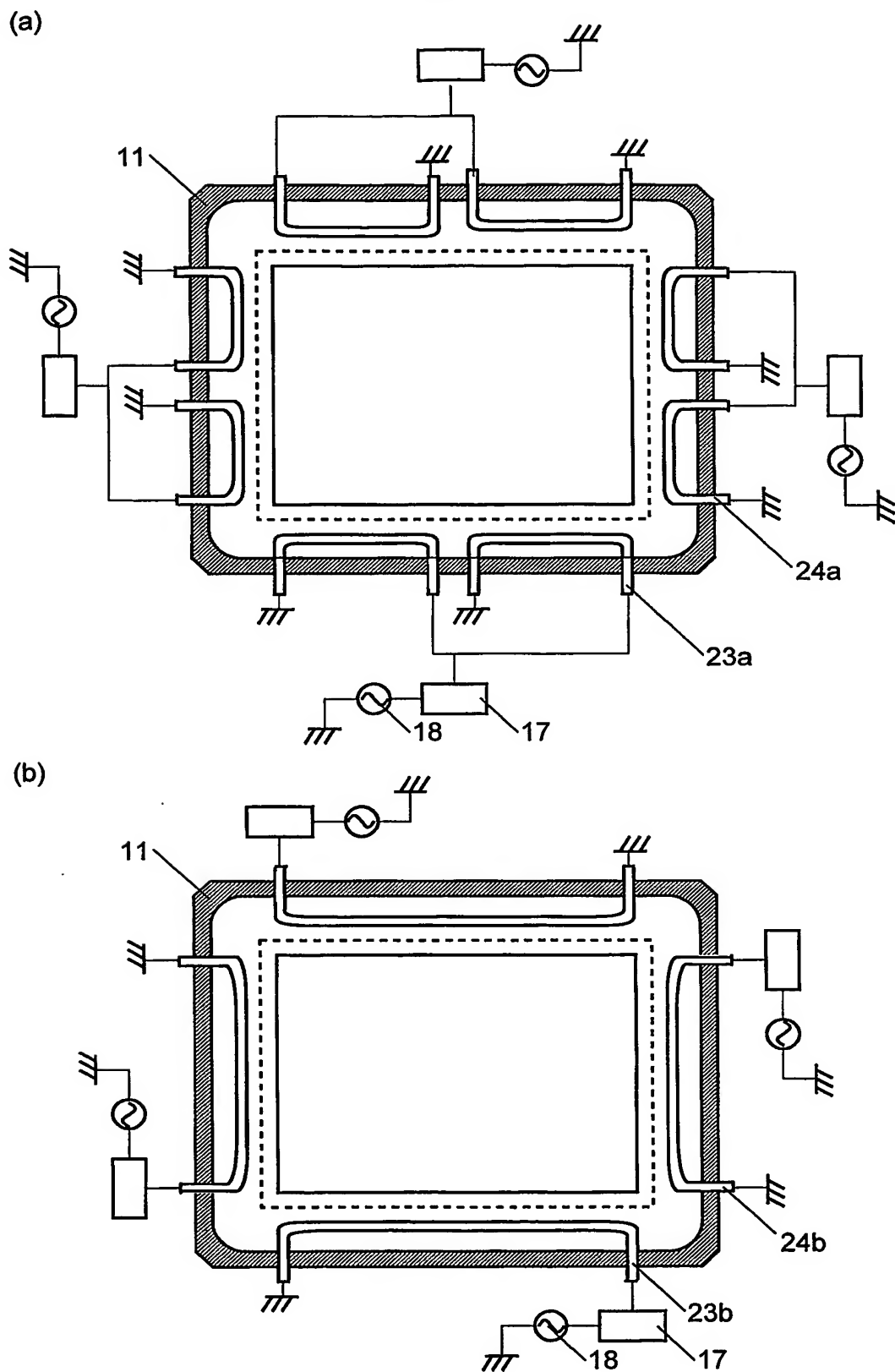


Fig. 9

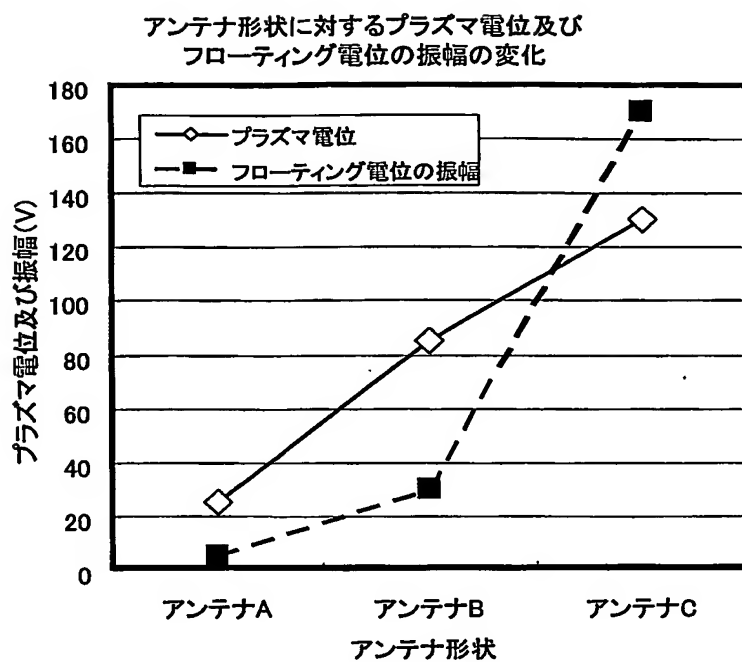


Fig. 10

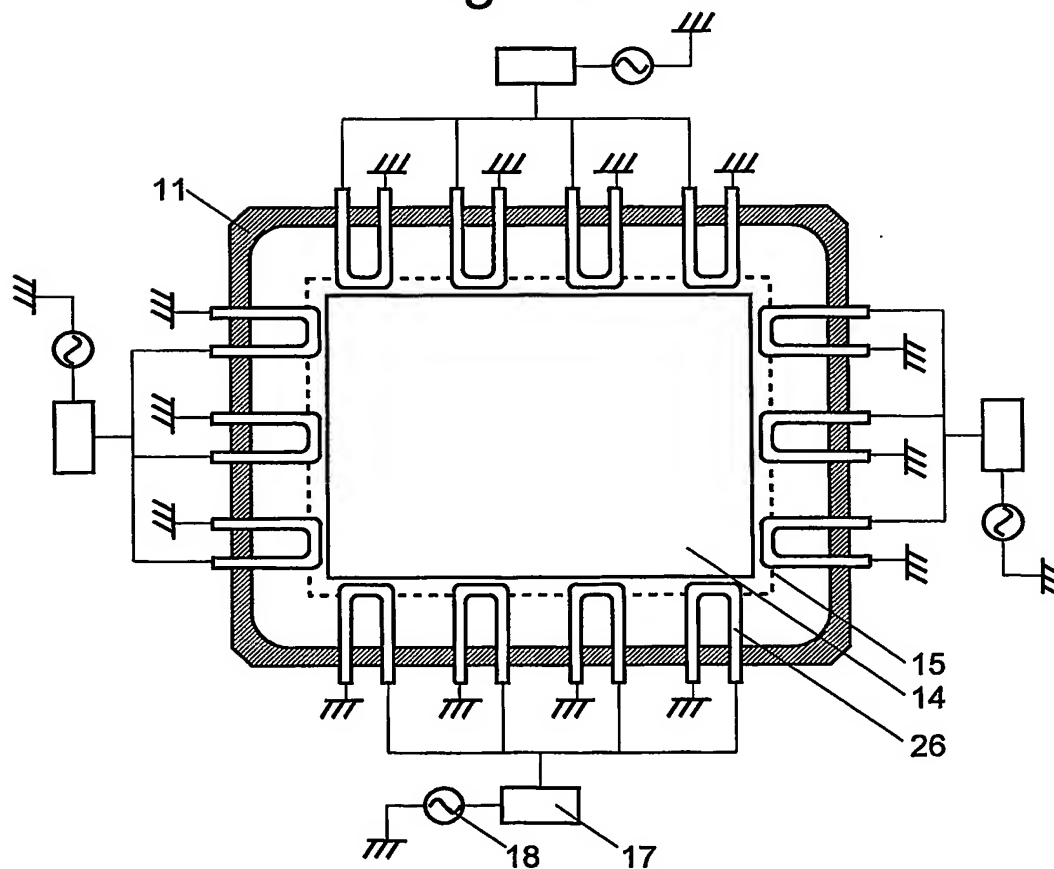


Fig. 11

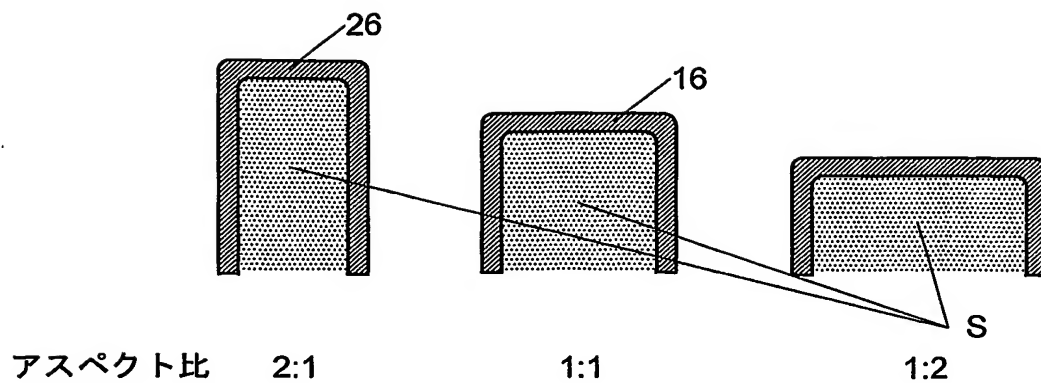


Fig. 12

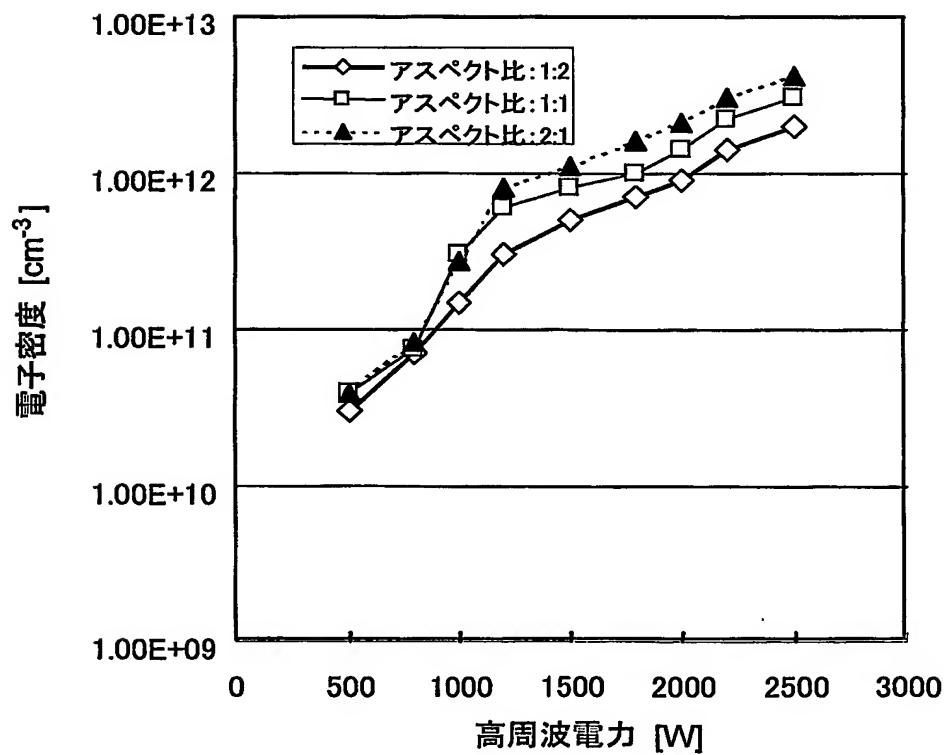


Fig. 13

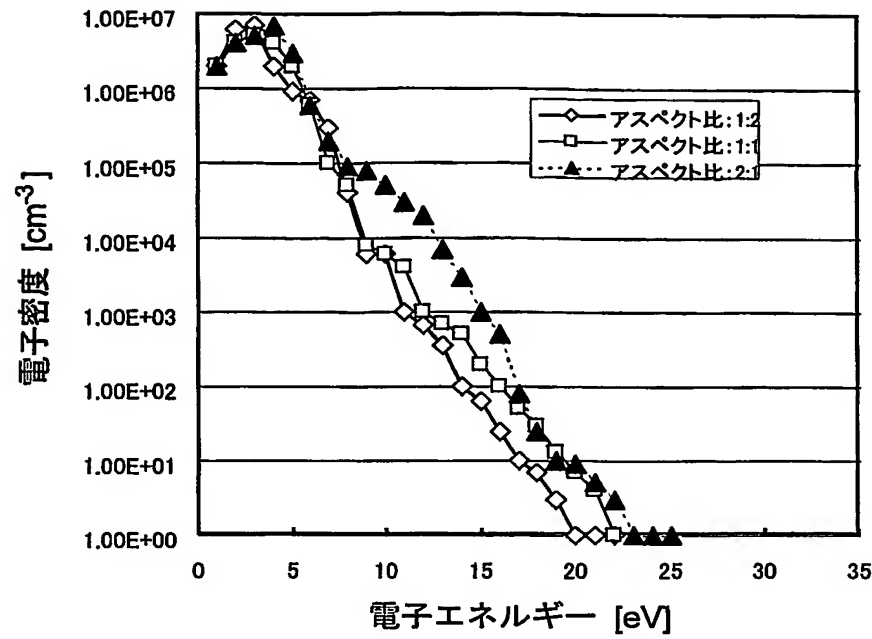


Fig. 14

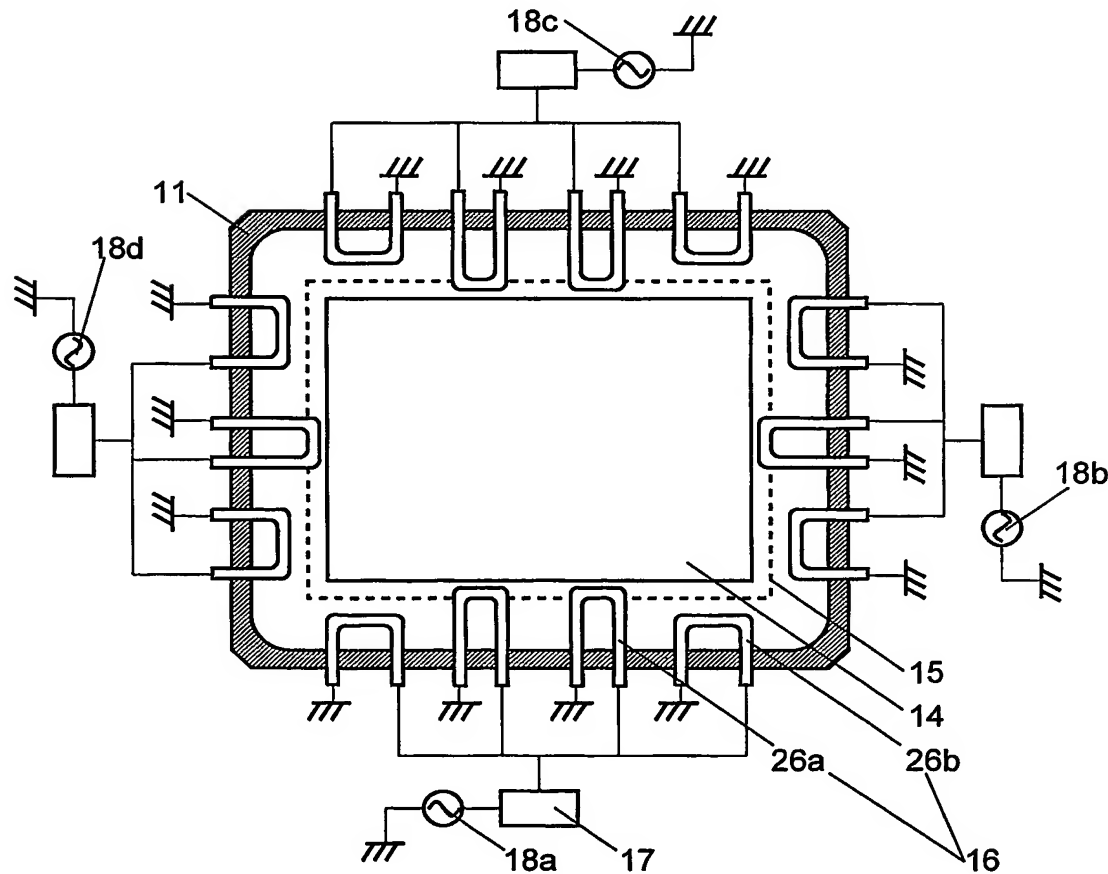
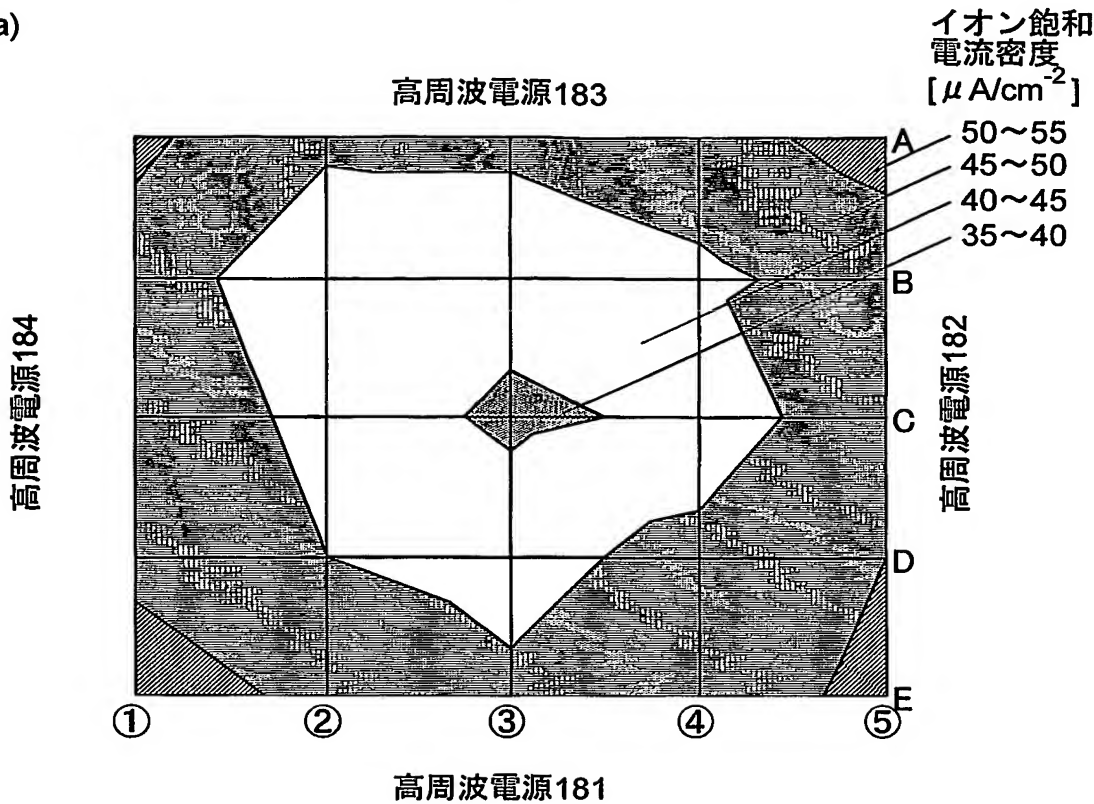


Fig. 15

(a)



(b)

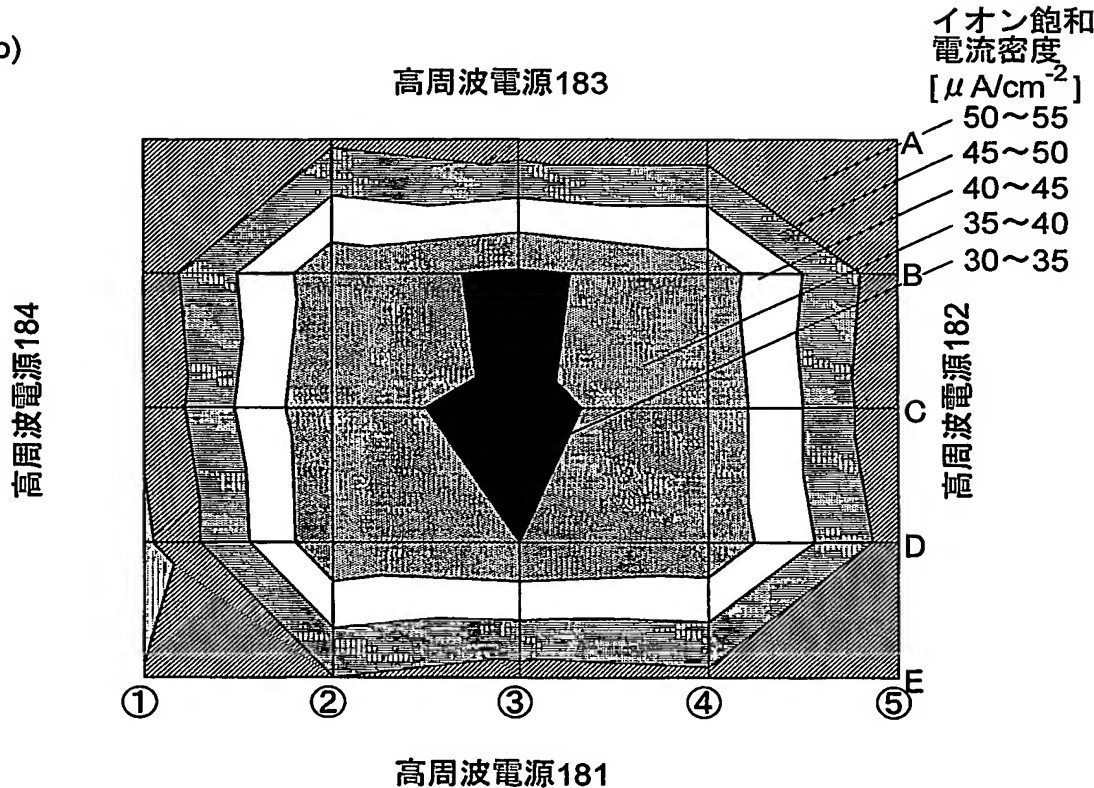


Fig. 18

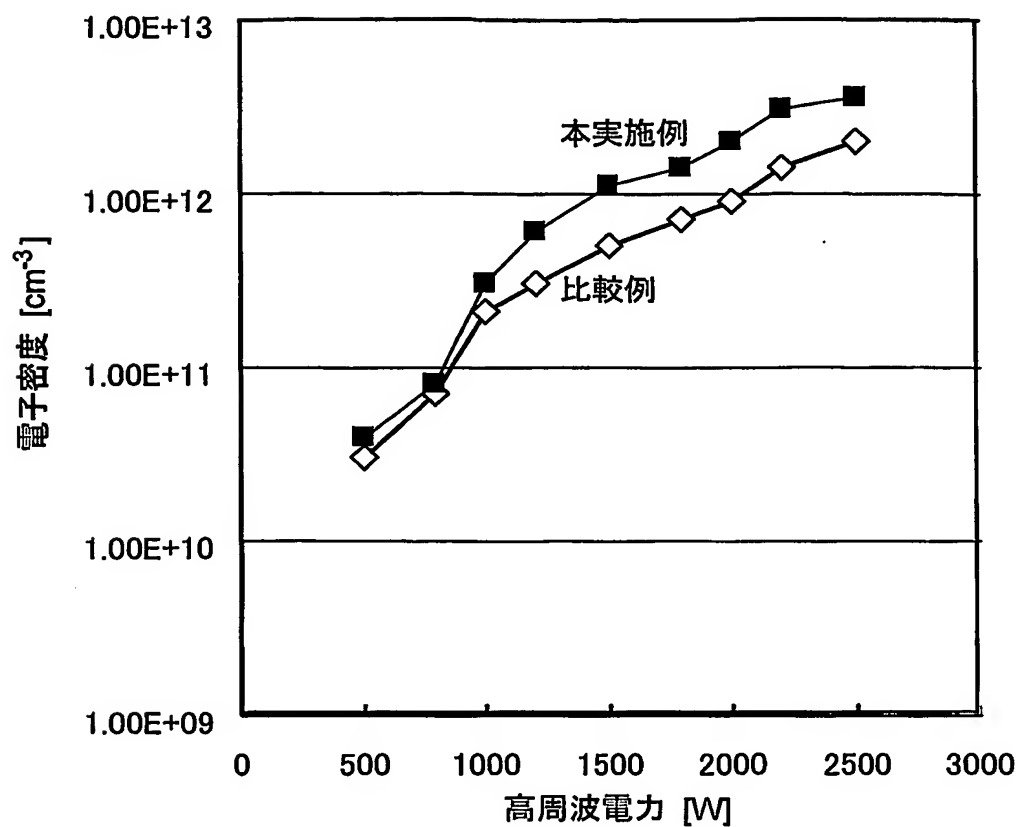


Fig. 19

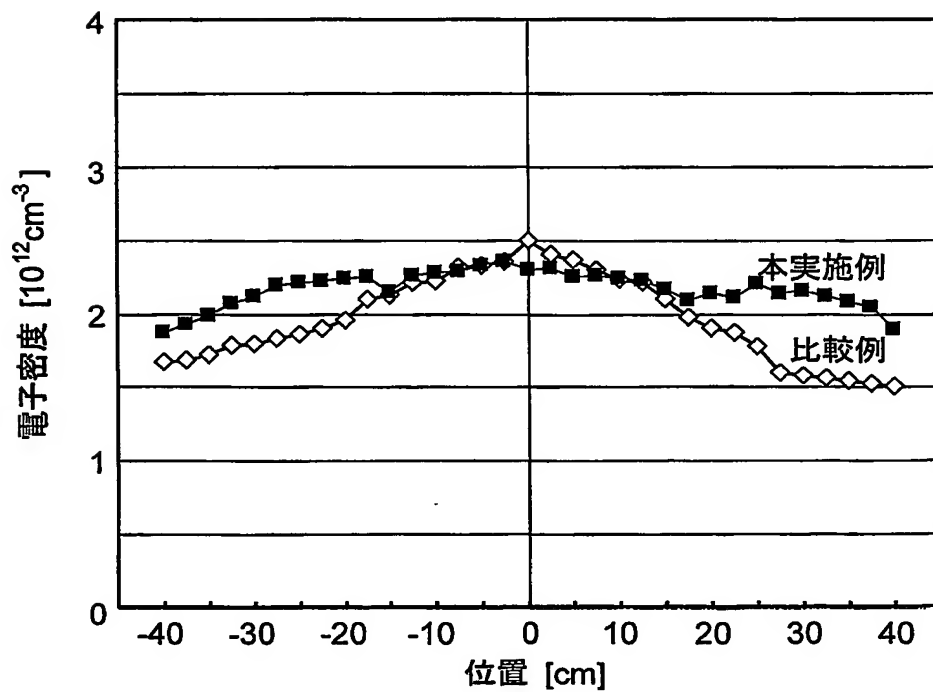


Fig. 20

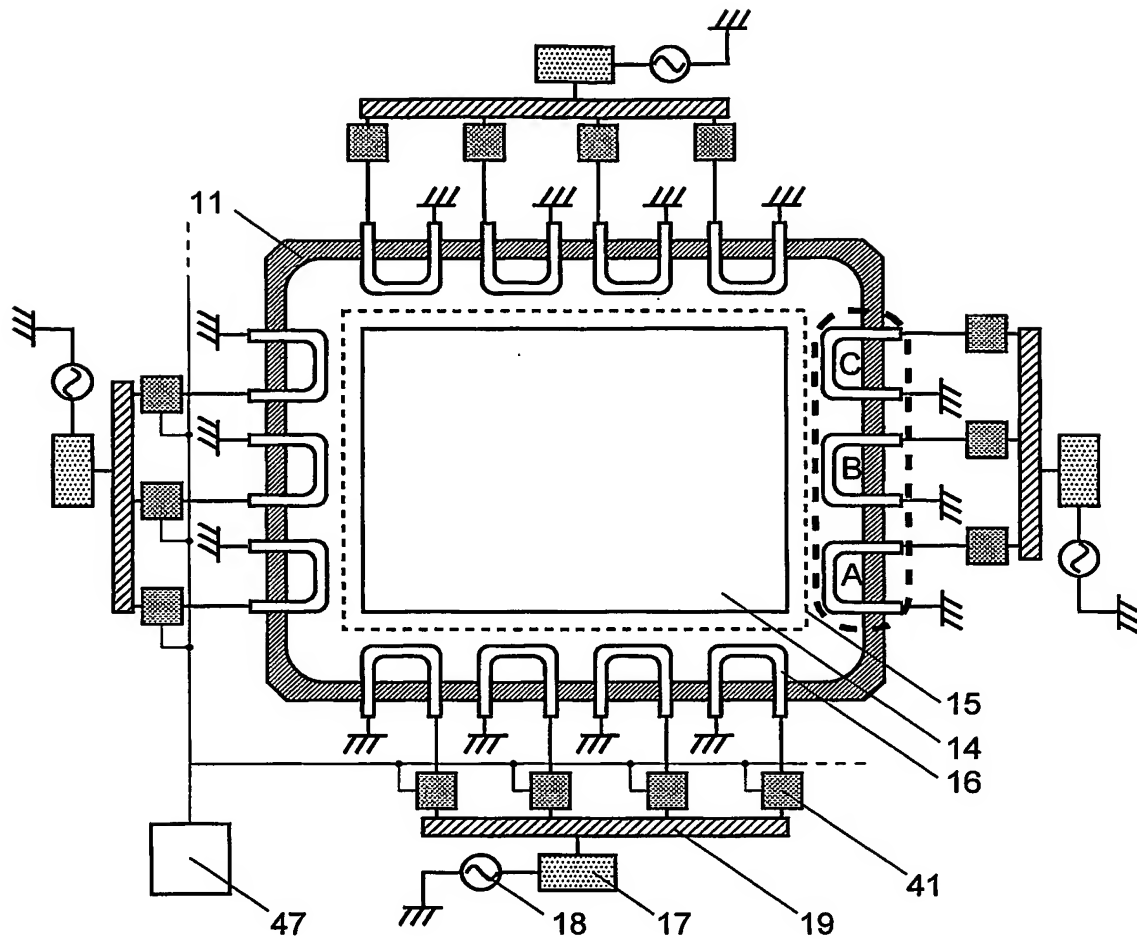


Fig. 21

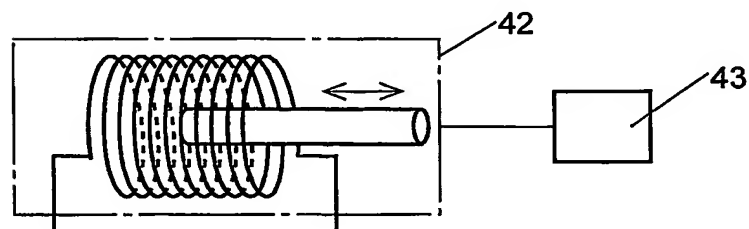


Fig. 22

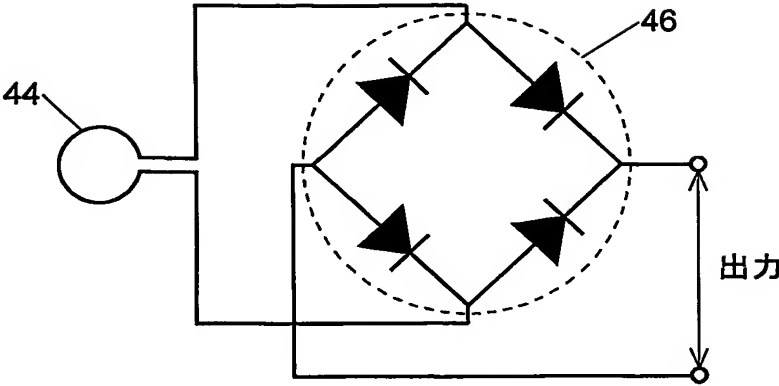


Fig. 23

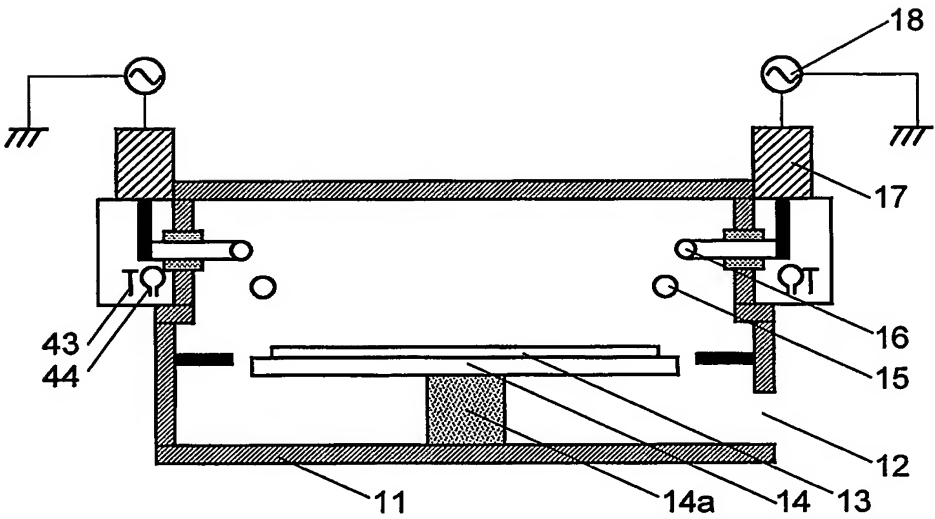
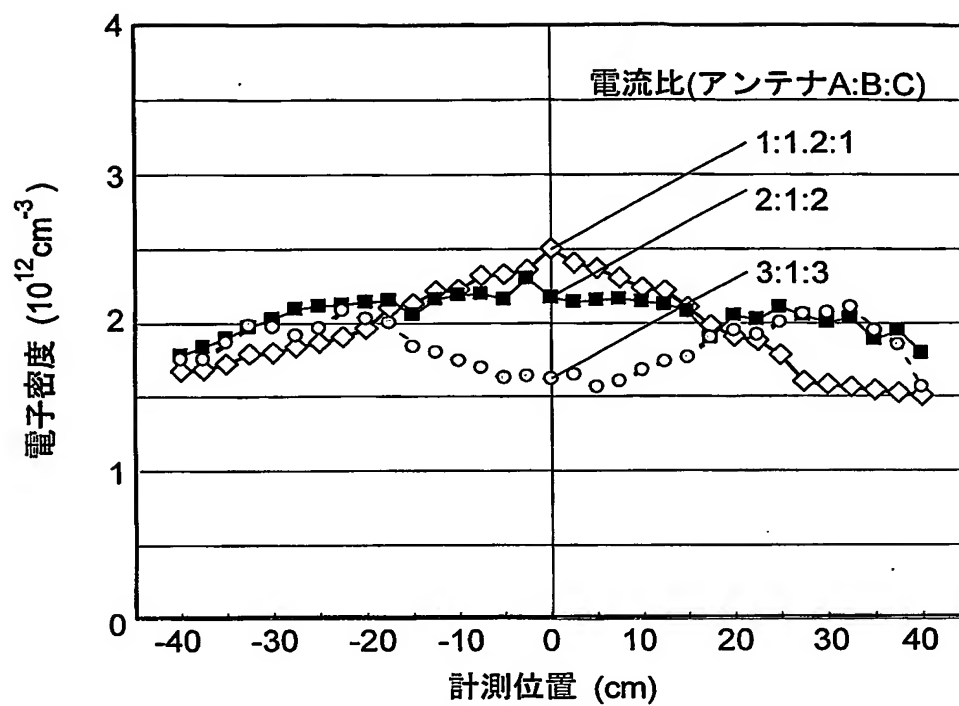


Fig. 24



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16007

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/205, C23C14/54

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/205, C23C14/54, C23C16/511

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1940-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-35697 A (Japan Science and Technology Corp.), 09 February, 2001 (09.02.01), Par. Nos. [0008] to [0039], [0047] to [0050]; Figs. 1, 3, 9 to 11 (Family: none)	1-3, 11-14, 16, 23-26, 32-34, 36, 37 <u>1-37</u>
Y	JP 2000-3878 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 07 January, 2000 (07.01.00), Par. Nos. [0057] to [0063]; Fig. 1 & US 6353201 B1	3-6
Y	JP 8-8096 A (The Power-Gass Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), Par. No. [0028] & US 5733511 A1 & EP 689226 A1	3, 5, 6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 March, 2004 (09.03.04)

Date of mailing of the international search report
23 March, 2004 (23.03.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16007

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-325759 A (Anelva Corp.), 10 December, 1996 (10.12.96), Par. Nos. [0007] to [0009], [0034] to [0035], [0041]; Figs. 1 to 3 (Family: none)	5-7, 27, 28
Y	JP 2000-73174 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 07 March, 2000 (07.03.00), Par. No. [0019]; Fig. 2 (Family: none)	4
Y	JP 2002-260899 A (Nihon Koshuha Co., Ltd.), 13 September, 2002 (13.09.02), Par. Nos. [0005], [0014] to [0024]; Figs. 1 to 5 (Family: none)	13-16, 25, 28, 34
Y	JP 2001-274099 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 05 October, 2001 (05.10.01), Full text; all drawings & US 2001-21422 A1	18-19, 22, 35
Y	JP 11-233289 A (President of Nagoya University), 27 August, 1999 (27.08.99), Par. Nos. [0017] to [0040]; Figs. 1 to 8 (Family: none)	18, 20, 23, 24, 34-37
E,X	JP 2004-39719 A (Japan Science and Technology Corp.), 05 February, 2004 (05.02.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-37
P,X	JP 2003-109798 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 11 April, 2003 (11.04.03), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 7, 26, 28
A	JP 2000-345351 A (Anelva Corp.), 12 December, 2000 (12.12.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-37
P,A	JP 2003-31504 A (Sharp Corp.), 31 January, 2003 (31.01.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-37

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/205, C23C14/54

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/205, C23C14/54,
C23C16/511

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 2001-35697 A(科学技術振興事業団) 2001.02.09 段落0008-0039, 0047-0050, 図1, 3, 9-11 (ファミリーなし)	1-3, 11-14, 16, 23-26, 32-34, 36, 37 <u>1-37</u>
Y	JP 2000-3878 A(三菱重工業株式会社) 2000.01.07 段落0057-0063, 図1 &US 6353201 B1	3-6
Y	JP 8-8096 A(ザ ビーオーシー グループ インコーポレイテッド) 1996.01.12 段落0028 &US 5733511 A1 &EP 689226 A1	3, 5, 6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.03.2004

国際調査報告の発送日

23.3.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山口 敦司

2M

9216

電話番号 03-3581-1101 内線 6234

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 8-325759 A(アネルバ株式会社) 1996. 12. 10 段落 0007-0009, 0034-0035, 0041, 図 1-3 (ファミリーなし)	5-7, 27, 28
Y	JP 2000-73174 A(三菱重工業株式会社) 2000. 03. 07 段落 0019, 図 2 (ファミリーなし)	4
Y	JP 2002-260899 A(日本高周波株式会社) 2002. 09. 13 段落 0005, 0014-0024, 図 1-5 (ファミリーなし)	13-16, 25, 28, 34
Y	JP 2001-274099 A(三菱重工業株式会社) 2001. 10. 05 全文, 全図 &US 2001-21422 A1	18-19, 22, 35
Y	JP 11-233289 A(名古屋大学長) 1999. 08. 27 段落 0017-0040, 図 1-8 (ファミリーなし)	18, 20, 23, 24, 34-37
E, X	JP 2004-39719 A(科学技術振興事業団) 2004. 02. 05 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-37
P, X	JP 2003-109798 A(石川島播磨重工業株式会社) 2003. 04. 11 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 7, 26, 28
A	JP 2000-345351 A(アネルバ株式会社) 2000. 12. 12 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-37
P, A	JP 2003-31504 A(シャープ株式会社) 2003. 01. 31 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-37

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.